

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
DIRECTION GÉNÉRALE «AFFAIRES SOCIALES»

**ÉTUDES DE PHYSIOLOGIE ET DE PSYCHOLOGIE
DU TRAVAIL**

ÉTUDE N° 6

**TRAVAIL MENTAL ET
AUTOMATISATION**

**(Activités mentales, fatigue mentale et activités de contrôle
et de surveillance dans l'industrie)**

(Analyse — par les Professeurs J. LEPLAT et H. SCHMIDTKE — des recherches effectuées dans ce domaine. Cette analyse constitue une des phases préparatoires de la recherche sur invitation sur la charge mentale dans l'industrie sidérurgique — recherche n° 6242/21/01-02-03-04 — encouragée par la Commission des communautés européennes et effectuée par MM. KALSBECK, LEPLAT et SCHMIDTKE)

LUXEMBOURG 1969

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
DIRECTION GÉNÉRALE «AFFAIRES SOCIALES»

**ÉTUDES DE PHYSIOLOGIE ET DE PSYCHOLOGIE
DU TRAVAIL**

ÉTUDE N° 6

**TRAVAIL MENTAL ET
AUTOMATISATION**

**(Activités mentales, fatigue mentale et activités de contrôle
et de surveillance dans l'industrie)**

(Analyse — par les Professeurs J. LEPLAT et H. SCHMIDTKE — des recherches effectuées dans ce domaine. Cette analyse constitue une des phases préparatoires de la recherche sur invitation sur la charge mentale dans l'industrie sidérurgique — recherche n° 6242/21/01-02-03-04 — encouragée par la Commission des communautés européennes et effectuée par MM. KALSBECK, LEPLAT et SCHMIDTKE)

LUXEMBOURG 1969

A V A N T - P R O P O S

A la fin de l'année 1966 la Haute Autorité de la C.E.C.A. a décidé de promouvoir une recherche concernant les tâches de surveillance et de contrôle dans la sidérurgie ainsi que la charge mentale et la fatigue mentale qui sont associées à ces tâches. En effet, le progrès technologique comporte la mise en place des dispositifs mécanisés et automatisés de plus en plus nombreux et complexes qui requièrent de la part des opérateurs une activité mentale et nerveuse croissante ; l'efficacité comme la sécurité des installations sont souvent dépendantes de l'adaptation réciproque de l'homme et des installations.

Deux ordres de problèmes sont examinés dans cette recherche. D'une part, on essaie de trouver des moyens aussi objectifs que possible d'apprécier l'intensité de la charge mentale exigée de l'opérateur et de mesurer la fatigue mentale qui peut en résulter au cours du travail. D'autre part on s'attache à mettre en lumière les relations entre l'opérateur, les dispositifs de commande, les processus technologiques à contrôler et plus généralement le système industriel dans lequel se trouve placé cet opérateur. On peut ainsi mettre en lumière la nature et les caractéristiques des informations que l'opérateur doit prélever, au moyen éventuellement de dispositifs techniques, et les caractéristiques des réponses qu'il doit donner sous forme de décisions ou d'actions sur les dispositifs de commande ; l'intérêt de ces études pour la conception des ensembles automatisés est évident.

Cette recherche a été confiée à trois instituts travaillant en coopération :

1. Laboratoire de psychologie ergonomique d'Amsterdam dirigé par le Dr J.W.H. KALSBECK
2. Laboratoire de psychologie appliquée de l'Ecole pratique des hautes études de Paris, dirigé par le Pr J. LEPLAT

3. L'institut d'ergonomie de l'Ecole supérieure technique de München, dirigé par le Pr H. SCHMIDTKE.

A titre de travail préparatoire à leurs recherches ces chercheurs ont passé en revue les différents travaux de recherches antérieurs qui avaient été effectués et MM. CUNY, LEPLAT et SCHMIDTKE ont rédigé les deux parties complémentaires de la présente étude, le Pr LEPLAT et M. CUNY analysant les activités de contrôle dans l'industrie tandis que le Pr SCHMIDTKE s'attache aux problèmes de la fatigue mentale.

Bien que cette revue de questions ne prétende pas couvrir l'ensemble des aspects de ce problème elle constitue cependant une source de documentation et de référence suffisamment complète pour mériter d'être diffusée aux spécialistes qui s'intéressent à ces questions.

S O M M A I R E

1ère partie : Recherches sur le contrôle à distance

(par M. X.CUNY et le Pr J.LEPLAT)

	<u>Pages</u>
I - INTRODUCTION	13
II - DESCRIPTION DU SYSTEME DE CONTROLE ET DE SON	
"CONTEXTE"	13
A - Buts et modalités	13
B - Situation du poste	15
1) Dans l'espace géographique du système global ..	15
2) Dans le cadre fonctionnel de la chaîne de fabrication	16
C - Fonctionnement du poste	19
1) Description de la structure	20
2) Description fonctionnelle	23
D - Description de l'activité de l'homme à l'intérieur du système	30
1) Les techniques classiques	30
2) Les techniques modernes	31
III - LES FONCTIONS HUMAINES DANS LES SYSTEMES	42
1) Fonction du système et fonctions des composants ...	42
2) Comment définir les fonctions de l'homme dans les systèmes ?	42
3) L'analyse des fonctions humaines en termes de traitement de l'information transmise	48

IV - INTEGRATION DE L'OPERATEUR HUMAIN DANS LE SYSTEME	53
1) Présentation des informations	55
2) Aménagement du dispositif de commande	68
3) Problèmes de mémoire	76
4) Contrôle de l'efficacité du couplage	86
V - CONCLUSION	88

LISTE DES FIGURES (1ère partie)

<u>Figure 1</u> : Schéma d'une installation d'une biscuiterie	17
<u>Figure 2</u> : Partie d'un diagramme à blocs pour décrire la chaîne d'action de la fabrication des biscuits (d'après les données du rapport de P. NAVILLE, 1961)	18
<u>Figure 3</u> : Schéma d'un système d'après J.E. Mc GRATH et P.G. NORDLIE, 1960	21
<u>Figure 4</u> : Modèle généralisé d'un système homme-machine montrant l'essentiel de la dynamique du flux "action-réaction" qu'implique le fonctionnement du système (d'après J.S. KIDD, 1962)	24
<u>Figure 5</u> : Schéma pour l'examen des fonctions d'un système de dispatch	26
Partie supérieure : désignation des fonctions	
Partie inférieure : éléments intéressant l'exercice des fonctions énoncées	
<u>Figure 6</u> : Diagramme à bloc et graphe de fluence pour un système de contrôle de fabrication du papier (d'après BEISHON, 1966)	28
<u>Figure 7</u> : Exemple de description de tâche détaillée (d'après MILLER)	33
<u>Figure 8</u> : Exemple simplifié d'ordonnogramme appliqué à une consigne de fabrication (cas d'une fabrication continue) (d'après de MONTMOLLIN, 1961)	36

<u>Figure 9</u> : Début d'un organigramme de traitement de l'information (d'après LEPLAT et BISSERET, 1965)	37
<u>Figure 10</u> : Diagramme de contrôle (HERBST)	41
<u>Figure 11</u> : Schéma fonctionnel d'un système de régulation simple	45
<u>Figure 12</u> : Les trois principales catégories de fonctions humaines (d'après GAGNE)	50
<u>Figure 13</u> : Schéma général d'un couplage homme-machine (Pour la signification, voir le texte)	54
<u>Figure 14</u> : Présentations diverses d'un élément d'installation (d'après POPESCU-NEVEANU et a., 1964)	59
<u>Figure 15</u> : Forme générale de la relation entre la capacité du canal et le nombre d'attitudes des stimuli variables indépendamment (d'après MILLER, 1956)	80

2ème partie : Recherches relatives au problème de la fatigue mentale

(par le Pr H. SCHMIDTKE)

I	- PROBLEMES DE DELIMITATION - DEFINITIONS	91
II	- FORMES DE LA FATIGUE PSYCHIQUE	92
	A - Formes successives de la fatigue psychique	
	B - Etats voisins de la fatigue	
III	- THEORIES DE LA FATIGUE PSYCHIQUE	96
	A - La "théorie de réaction biologique" de THORNDIKE ...	96
	B - La "théorie des composants multiples" de VON BRACKEN	97
	C - Théorie de la fatigue fondée sur les résultats de recherches neuro-physiologiques	99

	Page
IV - RECHERCHES SUR LES METHODES DE MESURE	105
A - Méthodes de mesure physiologiques	106
1) Méthodes relevant de la physiologie musculaire ..	106
2) Méthodes relevant de la physiologie du système nerveux central	107
3) Méthodes relevant de la physiologie du système végétatif	108
4) Méthodes relevant de la physiologie sensorielle (troubles de la perception)	111
B - Méthodes de mesure psychologiques	114
1) Méthodes de mesure de troubles de la perception	116
2) Méthodes de mesure de troubles de la coordination	118
3) Méthodes de mesure des troubles de l'attention et de la concentration	121
4) Méthodes de mesure des troubles de la pensée	135
5) Méthodes de mesure des troubles de la fonction motrice et directrice de la personnalité	136
6) Méthodes de mesure des perturbations des rela- tions sociales	142
V - RESULTATS DES ESSAIS DE MESURE	142

LISTE DES FIGURES (2ème partie)

<u>Figure 1</u> : Représentation schématique du système d'activation réticulaire ascendant (ARAS) dans lequel aboutis- sent des impulsions collatérales provenant de voies de conduction sensorielles spécifiques (d'après LINDSEY)	103
<u>Figure 2</u> : Variations de la fréquence cardiaque d'un violoncelliste; exécution d'"Othello" de Verdi (d'après SCHMALE et SCHMIDTKE)	110
<u>Figure 3</u> : Incidence de la performance ininterrompue d'un con- ducteur de camion, parcourant l'autoroute de nuit, sur l'éclairage nécessaire pour percevoir une figure-test (d'après HARTMANN)	119

<u>Figure 4</u> : Relation entre la durée de sollicitation et l'apparition de blocages (d'après des valeurs établies par BILLS)	123
<u>Figure 5</u> : Variations de la performance d'un individu soumis au test de cadrans lors d'une période d'observation de deux heures (d'après MACKWORTH ainsi que SCHMIDTKE et MICKO)	125
<u>Figure 6</u> : Incidence de la durée d'observation sur la reconnaissance de trajets conduisant à une collision, dans des essais individuels et de groupe	127
<u>Figure 7</u> : Incidence de la fréquence des signaux sur la qualité de l'observation (d'après SCHMIDTKE et MICKO)	129
<u>Figure 8</u> : Incidence de l'exercice et de la fatigue sur un processus de réaction élective (d'après SCHMIDTKE)	133
<u>Figure 9</u> : Suppléments de récupération nécessaires dans les opérations de calcul mental, en fonction du rendement du calculateur et de la durée des périodes de calcul ininterrompues (d'après SCHMIDTKE)	137
<u>Tableau 1</u> : Prolongation du temps de latence et de réaction de conducteurs de train à la suite d'une période de service de 12 heures (conversion d'après BABADSCHAJAN e. a.)	131

BIBLIOGRAPHIE

I - Relative à la 1ère partie	147
II - Relative à la 2ème partie	155

PREMIERE PARTIE

RECHERCHES SUR LE CONTROLE A DISTANCE

(par M. X.CUNY et le Pr J.LEPLAT)

LE CONTROLE A DISTANCE

I - INTRODUCTION

Avec les progrès de la technologie, l'action de l'homme sur le matériau ou plus largement sur le champ de travail s'exerce de plus en plus indirectement. L'homme ne perçoit plus le champ de travail avec les organes des sens et ne le transforme plus avec la seule énergie musculaire. Entre le champ de travail et lui s'intercale la machine ou une installation plus ou moins complexe qui constitue comme un médiateur de sa perception et de son action sur le monde. Le travail va en être profondément modifié. Ce sont quelques problèmes posés par ces nouveaux modes de travail qui seront examinés dans cette revue. On pensera notamment aux travaux des opérateurs dans les industries semi-automatisées, à des postes tels que celui d'aiguillage dans les chemins de fer, de central de haut fourneau, de contrôle centralisé de l'industrie chimique, etc...

Cette revue de questions a pour premier but de servir d'introduction à une recherche originale consacrée à ce même problème. On a cherché à recenser les méthodes et les connaissances essentielles actuellement disponibles sur ce type de travail. Cependant l'inventaire ici présenté ne vise pas l'exhaustivité. D'abord les résultats classiques ont été délibérément négligés ou rappelés seulement brièvement. Ensuite seuls les travaux les plus marquants ont été signalés. Enfin, on a surtout cherché à développer quelques thèmes moins connus et propres à apporter des connaissances utiles dans ce domaine. C'est ainsi qu'une place importante a été faite aux méthodes d'analyses, aux problèmes de mémoire et à la sémantique des signaux.

II - DESCRIPTION DU SYSTEME DE CONTROLE ET DE SON "CONTEXTE"

A - Buts et Modalités

Dans quelque domaine que ce soit, une étude ne commence

généralement pas par une analyse fine d'un aspect particulier de l'objet. Le besoin est éprouvé par le chercheur, comme par le lecteur d'un rapport, de bien situer cet objet dans son cadre et d'en décrire les caractéristiques générales. L'analyse spécifique sera abordée ensuite avec de meilleures chances de compréhension. Ce principe est valable dans le cas de l'étude d'un système homme-machine : la première étape aura un caractère essentiellement descriptif et global.

Une démarche possible consiste à composer d'abord une "vue d'ensemble" suffisamment large de ce qui entoure l'unité à étudier, puis à affiner progressivement les structures dont dépendent l'existence et le rôle de cette unité. Comme illustration on pense à l'histologiste examinant une cellule au microscope avec des grossissements de plus en plus forts : la cellule est vue d'abord en tant qu'élément d'une structure tissulaire, puis comme ensemble dont on peut essayer de détailler au maximum les parties. De même, pour l'étude d'un poste, l'analyste pourra progresser dans le détail des éléments jusqu'à décrire les opérations constituant la tâche d'un opérateur. Cette méthode de description où l'on procède du général au spécifique par niveaux successifs (de celui du système global à celui des composantes du sous-système considéré) est proposée en particulier par R.B. MILLER (1962, p.195)(51). Il est utile d'avoir dès maintenant à l'esprit que cette description liminaire, ayant pour objet de fournir les données d'une analyse de système, est à la fois structurale (inventaire des éléments, dispositions, liaisons, etc.) et fonctionnelle (observation de ce qui se passe lors de l'activité du système global) : si l'on s'occupait non pas de systèmes industriels mais d'organismes vivants, on dirait qu'il s'agit d'une description anatomique et physiologique. Pour la même raison la description ne revêt pas un caractère normatif ou formel - ce n'est pas l'image de ce qui devrait être - mais, au contraire, elle vise à donner un tableau de ce qui existe effectivement. Elle contient donc la plupart des variantes et des perturbations

qui interviennent dans le fonctionnement du poste et indique comment elles sont éliminées.

Voici des exemples puisés dans la littérature. Chacun d'eux sera rapporté à l'une des trois étapes de la description proposée ici :

1 - Situation du poste dans le système global : topographie, localisation dans le réseau de transformation. 2 - Fonctionnement du poste : exigences, modalités, perturbations. 3 - Rôle de l'opérateur humain : nature de l'activité, séquences d'opérations élémentaires, moments critiques.

B - Situation du poste

1) Dans l'espace géographique du système global :

Il est naturel de commencer la description sur une base concrète en dressant un schéma topographique des installations qui intègrent le poste à étudier. Un schéma de ce genre est en général utile pour :

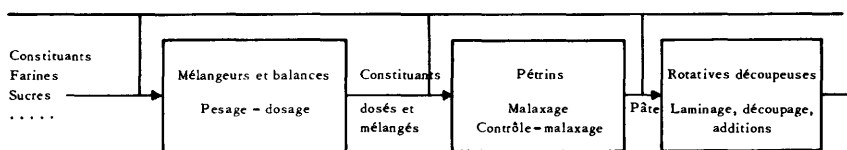
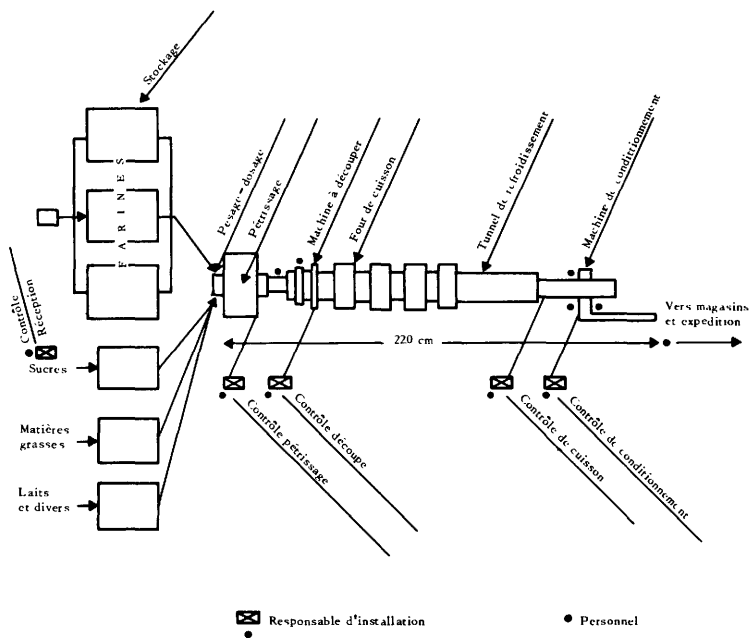
- donner une idée de l'importance du système global (dimensions, production),
- fournir une image de la disposition des différentes unités jouant un rôle dans le fonctionnement de ce système,
- représenter l'aspect spatial du déroulement du processus général de fabrication,
- localiser exactement et rapidement le poste à étudier,
- délimiter les zones de contrôle des principaux postes,
- mettre éventuellement en évidence les contraintes spatiales susceptibles d'avoir une influence sur l'organisation.

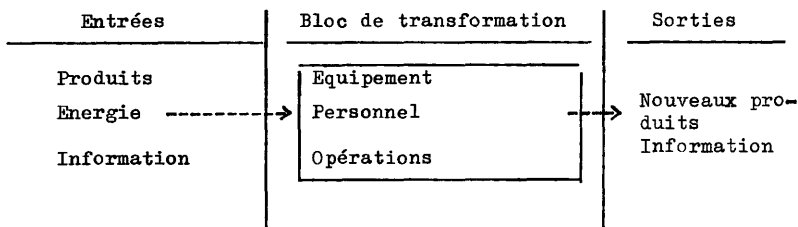
L'ouvrage qui rassemble les diverses parties d'une enquête dirigée par NAVILLE (1961)(58) sur "les effets sociaux de l'automatisation" dans un certain nombre de secteurs de l'industrie, contient

plusieurs schémas topographiques d'entreprises. Pour illustrer ce qui précède, l'un d'eux est reproduit figure 1. Les principales parties de l'usine, correspondant aux étapes de la fabrication, sont représentées par de simples cases dont les dimensions et la disposition sont à l'image de la configuration réelle. Les endroits où il est prévu d'utiliser un opérateur humain sont indiqués, une précision est ajoutée lorsqu'il s'agit d'un poste de contrôle. Le déroulement du processus de fabrication des biscuits à partir des constituants essentiels de ceux-ci est facile à suivre. Toutefois, les renseignements relatifs aux opérations comprises dans ce processus restent nécessairement sommaires. L'étude d'un poste exige davantage. Aussi est-on amené à compléter la description topographique par une description plus détaillée des phases de transformation des produits. Comme il apparaît dans ce qui suit, il est alors préférable, pour la clarté, d'adopter une présentation indépendante des structures matérielles.

2) Dans le cadre fonctionnel de la chaîne de fabrication :

Le schéma de la figure 1, centré sur les installations, porte l'indication des étapes de fabrication, mais celles-ci sont désignées soit par les produits (farines, sucres, etc.), soit par l'opération sur ceux-ci (pétrissage), soit enfin par l'équipement matériel (four de cuisson). Pour en savoir davantage il est souhaitable qu'à chaque étape figurent ces trois types de désignation. L'intérêt se porte alors sur la transformation qui, d'une façon générale, peut être présentée ainsi :





Comme dans tout système, on retrouve ici des variables d'entrée, un mécanisme de traitement et des variables de sortie. Par souci d'exactitude à l'égard du fonctionnement du système, on a mentionné les variables d'énergie et d'information. Cependant, les auteurs qui utilisent cette représentation désignent parfois, par commodité, sous les termes d'entrées et de sorties, les seuls produits avec leurs caractéristiques exigées pour l'admission. Par exemple, FAVERGE et DELAHAUT (1965)(19), considérant le bloc de transformation relatif à un train de laminage à chaud, nomment "ensemble d'entrées admissibles" l'ensemble constitué par les différents types de lingots que le laminoir peut accepter, et "ensemble des sorties admissibles" l'ensemble des coils laminés répondant aux demandes de l'entreprise en ce qui concerne les dimensions et les normes de qualité.

Pour décrire un processus complet de fabrication, représentant l'activité du système global, on fera apparaître les principaux blocs de transformation dans l'ordre dicté par leurs relations fonctionnelles : mis à part le début et la fin du processus général, tout ou partie des sorties d'un bloc déterminé est aussi tout

ou partie des entrées du bloc suivant. Les blocs ainsi reliés formeront ce qu'il est convenu d'appeler une "chaîne d'action" dont un exemple fragmentaire est donné par le diagramme de la figure 2. Celui-ci reprend le début du processus de fabrication propre à une biscuiterie moderne.

La représentation de la chaîne d'action au moyen d'un diagramme se place à un niveau d'abstraction supérieur à celui du schéma topographique précédent. Les aspects figuratifs disparaissent, la dimension des cases est indifférente et la disposition suit la chronologie des opérations. Dans certains cas il est utile de porter sur le diagramme le réseau d'information qui permet d'assurer la régulation du fonctionnement du système global.

Avant d'examiner un poste en particulier, une description de ce type paraît indispensable pour identifier et retenir le rôle de ce poste dans le fonctionnement du système global de production. L'effort de clarté apporté lors de la présentation est utile à la compréhension et à la mémorisation. Une image aussi exacte que possible du poste à étudier dans la chaîne d'action facilitera l'analyse ultérieure et aidera à l'orienter vers les voies les plus pertinentes.

C - Fonctionnement du poste

L'étape suivante de la description consiste à porter l'attention sur le bloc de transformation correspondant au poste et à en examiner le fonctionnement. Autrement dit, la localisation nécessaire du poste étant faite, on laisse, pour un temps, le système global dans l'ombre afin de projeter tout l'éclairage sur le sous-système concrétisé par l'équipement du poste et le ou les opérateur (s). L'image du sous-système cherché ne va toutefois pas encore jusqu'au détail des activités des composants humains et technologiques, elle conserve au système son aspect d'ensemble fonctionnel. Pour conduire une telle description le schéma général d'un système, proposé par Mc GRATH et NORDLIE (1960) semble fournir un point de départ approprié (figure 3). Sont considérés, d'un

côté, les exigences à l'égard du système qui dépendent des buts généraux, de l'autre côté, la structure et le fonctionnement du système qui dépendent des entrées et de l'environnement. Comme le suggèrent la plupart des auteurs, la première étape visera à décrire ce qui se rattache à la structure, elle permet de commencer par les éléments immédiatement apparents : équipement, opérateurs, types d'énergie et d'information, etc. La deuxième étape intéressera le fonctionnement du système. Pour chaque étape les exigences en jeu seront évoquées.

1) Description de la structure

Quelle que soit la nature du système, MORGAN et LUND(1963)(54), conseillent d'utiliser une présentation en diagramme qui intégrerait des informations sur les aspects suivants :

1. Exigences d'ensemble du système (mission, conditions d'activité, environnement général, etc.).
2. Spécification de l'environnement externe où le système doit fonctionner (signaux extérieurs qui sont détectés par les dispositifs techniques ou par l'homme, bruits, obstacles non désirés limitant la performance du système).
3. Spécification de l'environnement interne (environnement où opèrent l'homme et les équipements : ambiances diverses, espace disponible, etc.).
4. Liste des dispositifs de détection et de communication reliés aux entrées du système.
5. Liste des appareils reprenant les données des dispositifs de réception (calculateurs, amplificateurs, transformateurs de données, appareils de signalisation pour l'homme, etc.).
6. Spécification des exigences du système en ce qui concerne les composants humains (nombre d'opérateurs, types de tâches à exécuter).

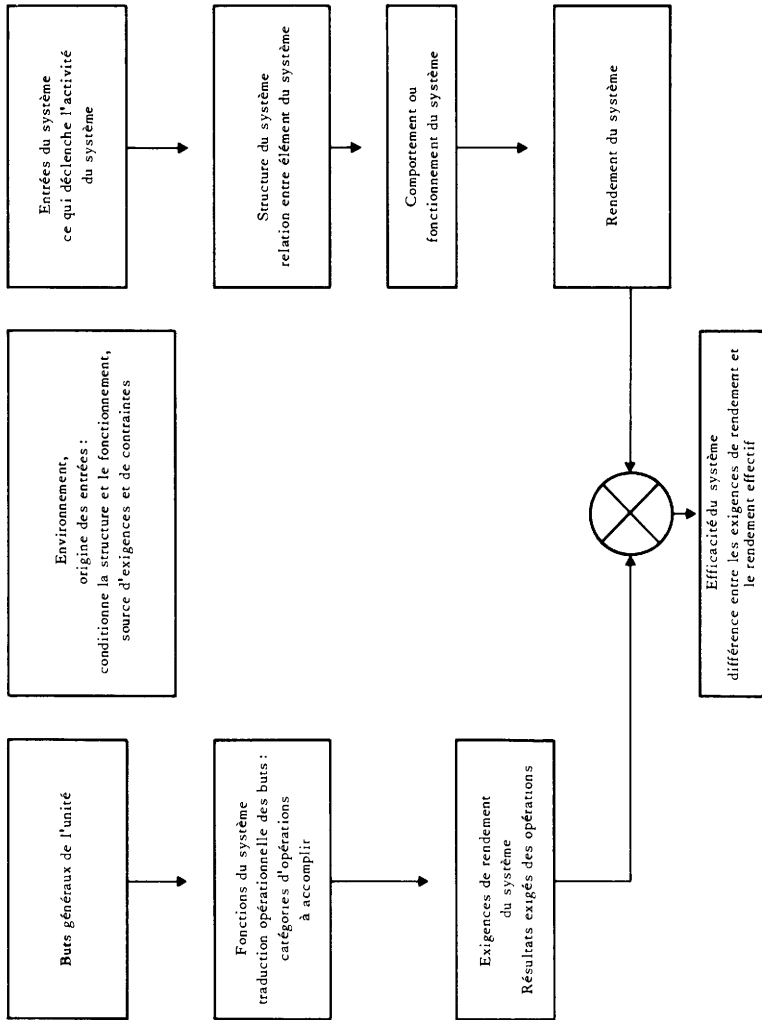


Figure 3: Schéma d'un système d'après J.E. Mc GRATH et P.G. NORDLIE (1960)

7. Spécification du nombre et des types de dispositifs de commande qu'exigent les sorties du système.

Les informations à donner risquent d'être souvent abondantes; dans ce cas il y a lieu d'utiliser sur le diagramme des indications codées renvoyant à une liste qui rassemble ces informations en clair.

- Le réseau des boucles de contrôle

Considérant le principe du feed-back comme fondamental dans le domaine de l'étude des systèmes, J.S.KIDD (1962)(38) propose un modèle de système homme-machine mettant en évidence les multiples boucles de contrôle susceptibles d'assurer le fonctionnement du système. Ce modèle semble utile pour décrire les tâches modernes du type de celles dont on s'occupe ici. Il situe le système, non pas comme précédemment dans la structure linéaire du processus de fabrication, mais entre deux sortes d'environnement : celui des opérations et celui de l'organisation (figure 4). L'auteur constate que si la boucle principale est bien celle qui lie l'opérateur à son environnement direct de travail, il existe plusieurs autres liaisons du genre "action-rétroaction", dont il faut tenir compte, entre le système et des éléments des environnements distingués. Dans le cas de la description d'un système déterminé, il pourra être intéressant de préciser la nature et le contenu du flux dans chacun des canaux figurés ici, de même que les modalités de circulation.

L'auteur voit dans la diversité des caractéristiques possibles de ce réseau d'information, sur le plan de la structure comme sur le plan fonctionnel, un point de départ pour élaborer une catégorisation pertinente des systèmes. Par exemple, une première façon de distinguer des systèmes serait d'évaluer leur "degré d'autonomie". Celui-ci s'obtiendrait en établissant le rapport du volume des signaux issus de l'environnement des opérations à

celui du volume des signaux de l'environnement de l'organisation. Plus élevé serait ce rapport et plus grande serait l'autonomie.

2) Description fonctionnelle

La description précédente donne du système une image d'un caractère statique. Il s'agit maintenant de l'animer, c'est-à-dire de répondre à cette question : quelles sont les fonctions du système et les modalités d'exercice de celles-ci ?

On notera d'abord avec MILLER(1962)(51) que la possibilité de répondre suppose une pleine connaissance de la manière dont les fonctions du sous-système (en question ici) participent à l'accomplissement des fonctions du système global, autrement dit permettent à ce dernier d'atteindre ses buts. Cette connaissance ne devrait pas faire défaut lorsqu'on procède, comme le suggère les pages précédentes, par une différenciation progressive des éléments en jeu. Voilà un argument complémentaire pour justifier la méthode.

Utilisant l'exemple de l'étude d'un système de défense anti-aérienne, MORGAN et LUND proposent, pour décrire les fonctions de ce système, l'établissement d'un tableau où, en regard des exigences (mission, performance minimale, condition d'utilisation, contraintes) sont indiqués les moyens mis en oeuvre pour les satisfaire. Les relations entre les différentes fonctions sont, en outre, mises en évidence.

On peut essayer de revoir ce procédé sur un exemple qui rejoint l'objet central de cette revue : le contrôle à distance. L'exemple est emprunté à une étude de FAVERGE et DELAHAUT(1965) (19), et se rapporte au système de dispatch d'un laminoir. Un aspect en sera décrit avec plus de détails dans la partie suivante. Dans le système de laminage, dont les buts sont définis avec précision en fonction des commandes arrivant de l'extérieur, le dispatch est

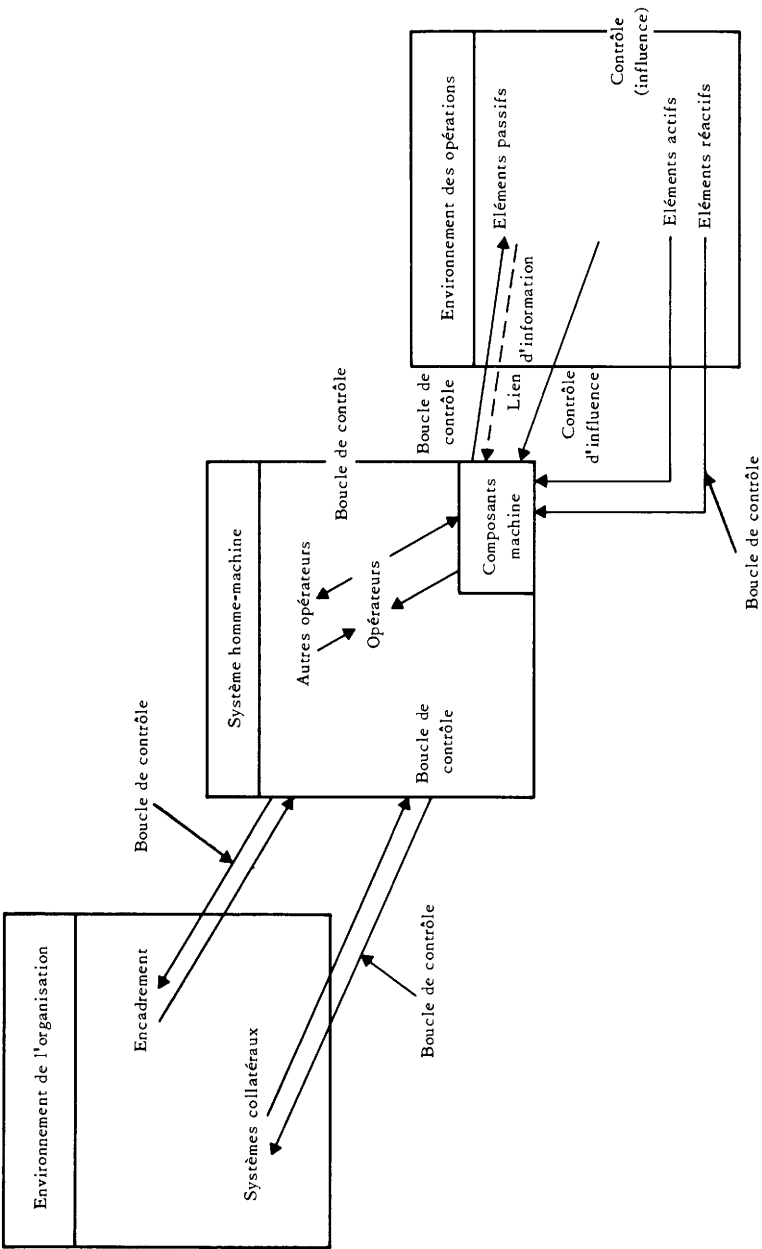


Figure 4 : Modèle généralisé d'un système homme-machine montrant l'essentiel de la dynamique du flux «action-réaction» qu'implique le fonctionnement du système (d'après J.S. KIDD, 1962).

un sous-système jouant le rôle d'un organe de régulation intermédiaire. Sa mission est d'annuler les effets des perturbations qui se produisent dans la chaîne d'action précédant le laminage, notamment à l'aciérie, au démoulage et à la batterie de fours, de manière que les exigences du planning soient satisfaites. Pour remplir cette mission le dispatch reçoit un faisceau d'informations en provenance des différents points de contrôle de la chaîne et concernant les lingots, l'activité des fours de réchauffement et les coils. Les fonctions en jeu peuvent être indiquées sur un schéma semblable à celui de la figure 5 qui propose un début de description.

Les éléments qui appellent l'exercice des fonctions du système sont précisés dans la partie inférieure de la figure 5. L'ordre dans lequel interviennent ces différentes fonctions apparaît également et l'on obtient un programme qui est un premier aspect du fonctionnement du système : les transformations successives subies par les variables d'entrée pour devenir les variables de sortie. Dans l'exemple ci-dessus ces transformations portent essentiellement sur le flux des informations reçues.

L'idée de fonctionnement du système appelle celle de structure dynamique comprenant les variables qui entrent en jeu et leurs interrelations. Pour étudier cette structure il était important de disposer d'une technique de description appropriée. Mc FARLAND (1965) avait appliqué à l'analyse de mécanismes de feed-back en biologie, une méthode transposée de celle, mise au point par des ingénieurs électriciens en vue étude plus aisée des réseaux électriques : la méthode des graphes de fluence (signal flow graphes). Celle-ci a été exposée en France notamment par NASLIN (1963)(57) dans son ouvrage "Calcul symbolique et diagramme de fluence". BEISHON (1966)(3) reprinted cette idée pour décrire l'interaction homme-machine dans les systèmes. Pratiquement le procédé consiste à tracer un diagramme composé de cercles, figurant les variables du système et appelés "noeuds", qui sont reliés

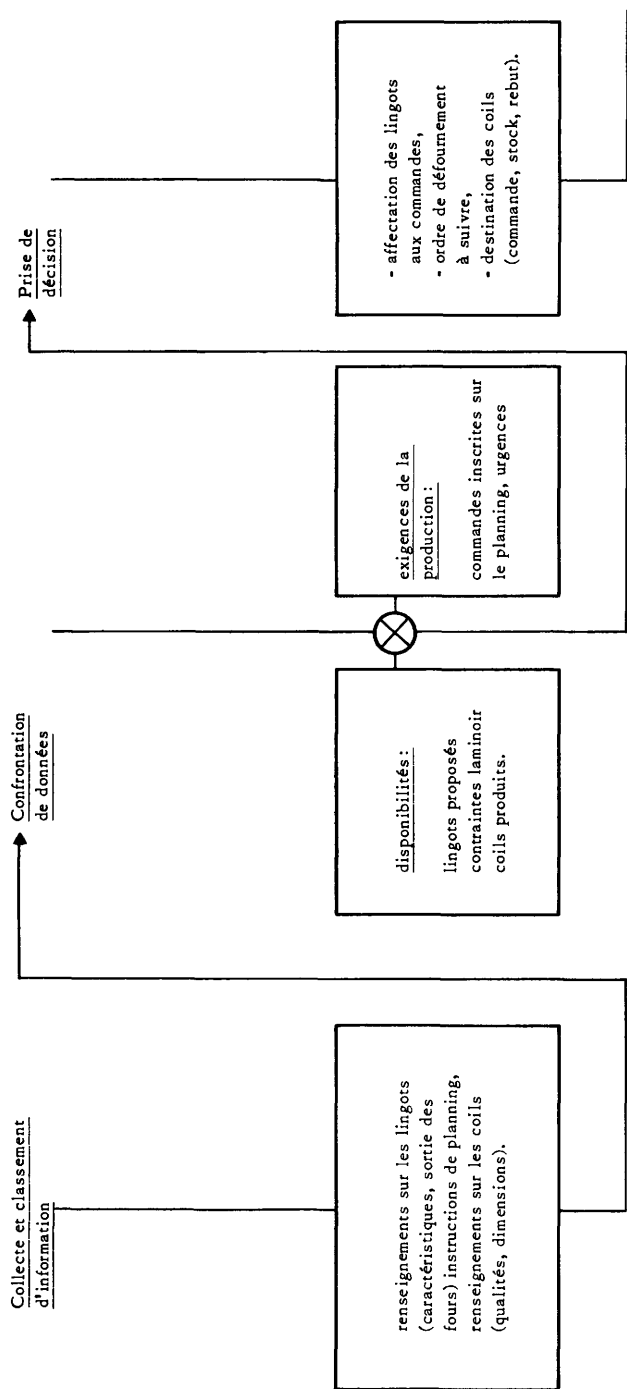


Figure 5 : Schéma pour l'examen des fonctions d'un système de dispatch.

Partie supérieure : désignation des fonctions.

Partie inférieure : éléments intéressant l'exercice des fonctions énoncées.

ensemble par des lignes ou "branches" représentant la dépendance causale entre deux variables. Les valeurs quantitatives des variables peuvent y être portées comme "valeurs nodales" et la relation quantitative entre variables est désignée par le terme de "transmittance". NASLIN définit la transmittance comme le rapport symbolique d'une réponse y à l'excitation correspondante x (p.6).

Un exemple simplifié, tiré d'une recherche faite par BEISHON dans une fabrique de papier est reproduit sur la figure 6. Il permet de saisir la différence entre ce nouveau mode de représentation et celui des "diagrammes à blocs" précédemment examiné (voir II, B, 2). Le diagramme à bloc donne également une image de la structure d'un système mais à partir de ses éléments concrets. Dans la partie supérieure de la figure on peut voir un schéma de l'opérateur et de la machine qu'il contrôle, des communications qui les unissent, ainsi que des entrées et des sorties du système : les constituants du papier arrivent à la machine en passant par une vanne dont l'ouverture est déterminée par l'opérateur; celui-ci règle aussi la vitesse de la machine par action sur un dispositif de commande; il peut donc obtenir la qualité de papier demandée (instructions) en jouant soit sur "l'entrée" de la machine, soit sur le fonctionnement de celle-ci, la "sortie", c'est-à-dire le papier fabriqué, peut être contrôlé de manière à permettre à l'opérateur de juger l'adéquation de son réglage pour atteindre le résultat fixé. Dans la partie inférieure de la figure, le graphe de fluence conduit à atténuer la représentation des composants du système pour mettre en relief l'action des variables : le degré d'ouverture de la vanne de matière, la vitesse de la machine, dépendant de l'action de l'opérateur, influent sur les caractéristiques du papier produit. L'une d'elles, particulièrement importante pour apprécier le résultat obtenu, est le poids d'une certaine unité de surface de papier ; ce poids est signalé à l'opérateur qui modifie éventuellement son action en conséquence. Le trait pointillé vertical correspond à la face d'interférence des variables humaines et de celles

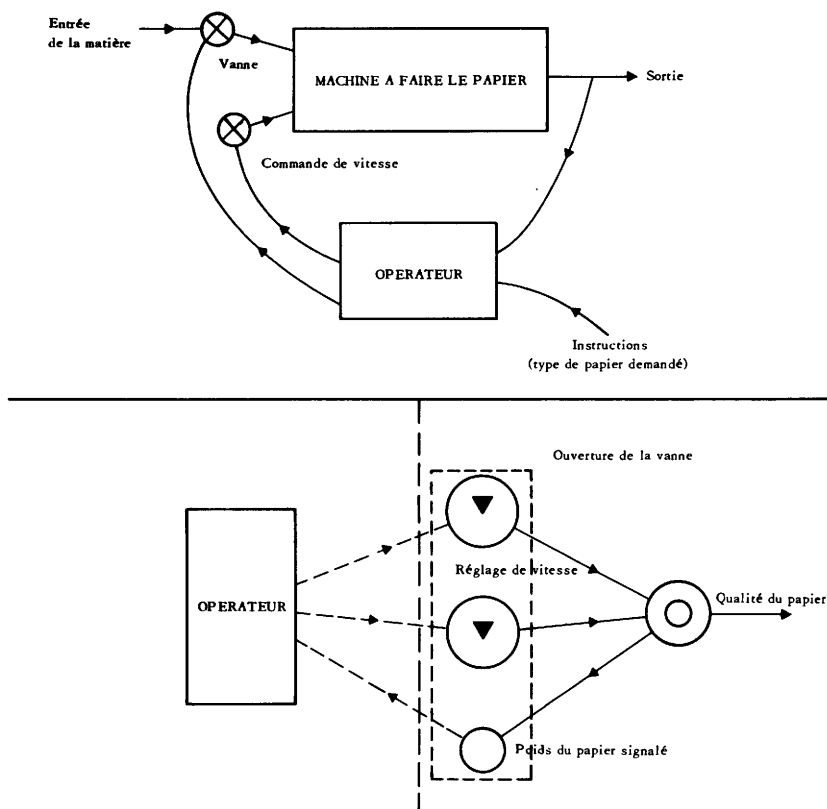


Figure 6: Diagramme à bloc et graphe de fluence pour un système de contrôle de fabrication du papier (d'après BEISHON, 1966).

des processus (interface). Dans le cas de systèmes à réseaux de variables plus complexes, il est intéressant de pouvoir utiliser les règles de simplification de la méthode des graphes de fluence

L'utilité de cette technique appliquée à la description des systèmes de contrôle à distance est double.

- elle permet un examen très détaillé du mode de fonctionnement de la partie "machine" d'un système.
- elle fournit une image claire de l'interaction homme-machine, notamment en ce qui concerne le rôle des signaux et des commandes dans la prise de décision. Par là, elle peut aider considérablement au moment de concevoir l'aménagement des dispositifs de signalisation et de commande (voir plus loin, III). Un exemple de cette contribution se trouve dans l'étude de SINCLAIR et al (1965)(72), faite pour le compte de la B.I.S.R.A. (British Iron and Steel Research Association). L'analyse par graphe de fluence d'un système de chaudière a permis de découvrir et de montrer avec précision, les défauts du tableau de contrôle existant. En outre une nouvelle disposition a pu être proposée dont les caractéristiques se fondent sur les données de cette analyse.

Le programme du système peut être décrit de façon plus approfondie dans son aspect temporel avec la méthode PERT, qui fait intervenir non seulement les relations d'ordre entre les différentes étapes du programme, mais encore la durée de chacune d'elles. On sait que la méthode consiste, en gros, à réaliser d'abord l'ordonnancement des étapes du programme en respectant les conditions d'antériorité, puis à rechercher sur le graphe ainsi construit le chemin le plus long (du point de vue de la durée) ou "chemin critique" reliant le début à la fin du programme. Le mot de "critique", appliqué aussi bien au chemin qu'aux étapes qui le constituent, marque le fait que le délai d'exécution de l'ensemble du

programme dépend étroitement du temps mis pour parcourir ce chemin ou ces étapes. Cette étude est donc importante lorsque le système pose des problèmes de retards; l'attention doit alors se porter sur les opérations du chemin critique. Une tentative d'utilisation de la méthode PERT pour l'étude du fonctionnement d'un système est due à CESA-BIANCHI(1966)(6). Le programme considéré se rapporte à un système de laminage (travail aux abords d'une cage); il comprend un cycle d'opérations élémentaires dont la durée est comprise entre 57 et 61 secondes. Les opérations sont réparties entre l'équipe de lamineurs (composants humains) et le laminoir proprement dit (composants technologiques). L'établissement du réseau PERT, pour ce programme, fournit en particulier l'indication que la quasi-totalité des opérations "critiques" concernent les composants humains. Une indication de ce genre est évidemment une incitation à s'intéresser aux facteurs humains pour améliorer la sécurité ou le rendement du système. Le moment est d'ailleurs venu, dans cet exposé, de se placer à un niveau encore plus fin de description, celui des composants du système et ici c'est l'activité de l'homme qui retiendra essentiellement l'attention.

D - Description de l'activité de l'homme à l'intérieur du système

Cette partie est évidemment très importante pour le psychologue. La littérature propose une assez grande variété de techniques dont l'intérêt est fonction de la nature des tâches. On insistera ici sur les techniques dont l'utilisation paraît bien convenir dans le cas du contrôle à distance.

1) Les techniques classiques

On cite pour mémoire les procédés mis au point par GILBRETH et par BARNES pour décrire les processus de travail de l'opérateur. Ils sont issus d'un effort pour faire entrer dans un nombre limité de catégories, les opérations élémentaires exécutées par un individu. Les catégories distinguées se voient affecter chacune un symbole, ce qui ramène la description d'une activité à

l'établissement d'une séquence de symboles qui peut se lire rapidement. Ces procédés appartiennent au domaine de l'étude des mouvements et leur utilité, éprouvée en ce qui concerne les tâches où dominent les activités motrices, peut apparaître faible ou nulle pour décrire les tâches, de plus en plus répandues, où les activités perceptives et intellectuelles ont une part essentielle.

2) Les techniques modernes

Comme le remarque FAVERGE(1965)(18), l'évolution technologique, en même temps qu'elle transforme le rôle de l'homme dans les systèmes, crée de nouveaux besoins en matière d'étude du travail. Ainsi, l'ergonomie, tournée vers les tâches nouvelles, amène les spécialistes à chercher et à proposer de nouveaux moyens d'investigation. Beaucoup de ceux-ci dérivent des premières tentatives pour décrire le travail humain en termes de signaux et de réponses.

a) Les fiches d'exécution

Elles permettent de présenter sur des tableaux les indications nécessaires à la compréhension du déroulement d'un processus. Le choix de ces indications, qui correspondent aux colonnes du tableau, dépend des caractéristiques du système : elles différeront, par exemple, avec le degré d'automatisation.

En général on trouvera en tête de colonne les désignations suivantes :

- tâches élémentaires : nom donné à l'ensemble des opérations mentionnées;
- temps : début de chaque événement;
- signaux : description, valeurs critiques;
- décisions : actions choisies;
- réponses : modalités de l'action, dispositifs de commande;

- indice d'adéquation de la réponse;
- remarques : variantes et précautions.

Lorsque le système occupe plusieurs opérateurs, les communications entre eux peuvent être représentées, si l'on réserve à chacun une colonne du tableau. Cela n'est possible qu'avec des équipes à effectif réduit (moins de 4). Pour MILLER un tableau de ce type est jugé satisfaisant s'il contient tout ce qui est utile à la formation d'un opérateur débutant.

Le même auteur propose en exemple, la description détaillée de la tâche d'un opérateur d'un système militaire de radar (fig. 7).

Cette technique convient particulièrement dans le cas où l'opérateur a une activité dite de routine, c'est-à-dire lorsque les séquences d'opérations ont été établies d'une façon précise par l'organisation formelle. La tâche peut être découpée en unités de comportement spécifiques conçues chacune sur le modèle général : indication (stimulus) \rightarrow action (réponse) \rightarrow indication en retour (feedback). Le diagramme d'exécution montre comment ces unités s'ordonnent dans le temps et s'articulent entre elles. Lorsque le temps est une variable critique de la tâche (durée et/ou moment des opérations, délai de réaction à un signal), les spécifications fournies sur ce point sont relevées. En ce qui concerne les tâches de contrôle à distance, il semble utile de noter aussi, à l'occasion de cette description de l'activité de l'opérateur, les caractéristiques des dispositifs et appareils de signalisation et de commande. Ces renseignements serviront au moment d'aborder le problème de l'aménagement du poste. Pour être complète, la description doit contenir deux sortes d'information supplémentaire : les perturbations et les bruits affectant la réception et l'identification des indications pertinentes, d'une part, et le nombre des opérations (formelles ou informelles) à exécuter presque simultanément.

Figure 7

Exemple de description de tâche détaillée (d'après MILLER)

FICHE D'ELEMENTS DE TÂCHE						
Position	Mécanicien --- Système radar					
Tâche	1. Régler le système				Date : 5 mai 19	
TÂCHE	TEMPS en minutes		ELEMENTS			OBSERVATIONS Autres opérations ou précautions
	en circuit seq	hora circuit seq	CONTRÔLE	ACTIVITE	INDICATION (inscrire le moment auquel doit être accomplie la tâche et la fréquence de la tâche)	
1.1. régler le récep- teur de radar	40		1.1.1. Bouton de MISE SOUS TENSION	Presser sur le bouton	40 Régler toutes les 25 h temps a/c. Voir a/c log.	Eviter de faire démarrer le système lorsque les couvercles sont enlevés des groupes haute tension; danger de mort.
			1.1.2. Réglage de la tension alterna- tive (tourne-vis)	Tourner	Le voltmètre courant alter- natif vient sur 117 ± 4 volts.	
			1.1.3. Réglage de la tension alternative à commande automatique POS (tournevis)	Tourner	Le voltmètre indique 300 ± 5 volts.	
			1.1.4. Bouton de con- trôle brillance	Tourner dans le sens des aiguilles d'une montre.	La trace de balayage apparaît sur C.R.T.	
			1.1.5. Bouton de con- trôle focalisa- tion.	Tourner dans le sens nécessaire	La trace de balayage devient plus nette (focalisation)	

La précédente remarque de MILLER, au sujet de la formation, suggère qu'il peut exister une étroite interaction entre la description de la tâche et l'établissement de normes opératoires. Le relevé précis et systématique de ce qui est fait à un poste peut être repris pour présenter ce qui est à faire (formation, instructions) et inversement.

b) Les organigrammes :

Lorsque le processus n'est pas linéaire, c'est-à-dire lorsqu'il existe plusieurs séquences possibles d'opérations, il est utile d'avoir recours à une représentation par organigramme. L'organigramme peut être défini comme un graphe orienté dans le sens entrée-sortie. Il donne "une image topologique de l'enchaînement temporel des opérations" (ROSENSTIEHL et GHOUILA-HOURI, 1960) (68). Ce mode de représentation communément utilisé en recherche opérationnelle sert aussi à l'écriture des programmes de machines à traiter l'information. Une opération est représentée par une case et le passage d'une opération à l'autre par une flèche. On peut d'ailleurs différencier les opérations comme c'est le cas dans les programmes de machine. Plusieurs flèches sortant d'une case indiquent la présence d'un choix avec plusieurs décisions possibles. Ce mode de représentation permet une grande économie dans la description, en particulier quand le processus comporte des boucles, c'est-à-dire quand une partie du processus doit être reprise sous la même forme. Etant donné la présence de ces choix, l'organigramme n'indique pas seulement la séquence des opérations, mais les informations à prendre pour contrôler le processus.

Ce mode de représentation a été utilisé de plusieurs manières pour décrire l'activité de l'opérateur. On a figuré sur un organigramme la suite des contrôles et des actions qu'un opérateur pouvait avoir à effectuer dans un cycle de travail. L'ordonnogramme décrit par de MONTMOLLIN (1961) (52) correspond à cet objectif. Les signaux utiles et leurs valeurs critiques, ainsi que les réponses

à donner dans chaque éventualité, sont indiqués et ordonnés dans le temps (figure 8). Les flèches lient entre elles questions et réponses, elles figurent les chemins de toutes les possibilités d'activité de l'opérateur. Grâce aux branches ascendantes qui renvoient aux signaux déjà mentionnés, ce type de représentation évite les répétitions de séquences et, partant, le développement inutile de la description. Il est donc avantageux d'y recourir dans le cas d'une tâche à cycle long. Et, en définitive, la valeur du document obtenu est dans la réunion, toujours difficile, des qualités de concision et de grande clarté dans la présentation des données.

On a également représenté de cette manière des processus intellectuels consistant en une série de classifications. Ainsi LEPLAT & BISSERET (1965)(46) ont figuré sur organigramme la séquence de prise d'information qui aboutit au classement d'une situation dans une des deux catégories. Une partie d'un tel organigramme est représentée sur la figure 9. Les stratégies des opérateurs se distinguent par l'ordre dans lequel sont examinées les variables. A Chaque stratégie correspondra donc un organigramme différent. La longueur des branches aboutissant à une catégorie donnée de situation sera différente sur ces organigrammes, ce qui pourra éventuellement fournir un moyen de validation et permettre de définir la stratégie optimale.

Les organigrammes peuvent avoir une valeur descriptive ou normative. Ils peuvent avoir pour but de décrire ce que fait effectivement un opérateur préalablement observé ou interrogé, mais ils peuvent servir aussi à indiquer ce qui doit être fait. C'est ainsi qu'on a pu représenter sous cette forme des consignes, des listes de contrôle. Les aides au travail ont souvent emprunté ce mode de représentation.

c) Le contrôle des perturbations :

Dans les systèmes de l'industrie moderne une part importante (non pas tant par le temps qu'en raison de son rôle pour

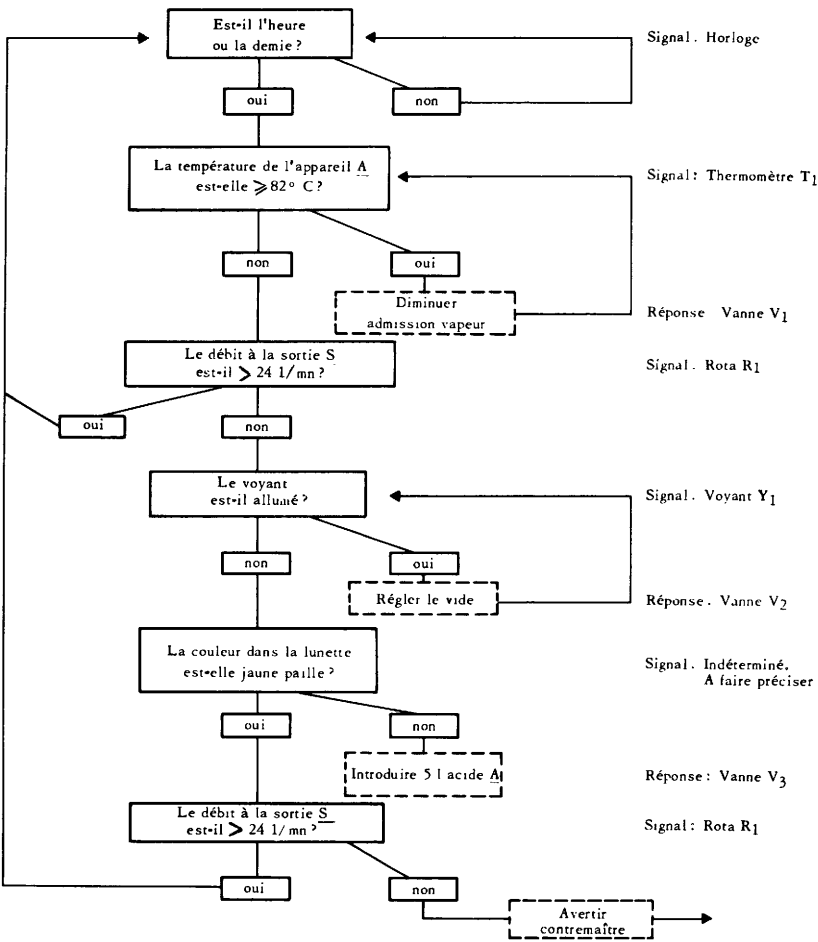
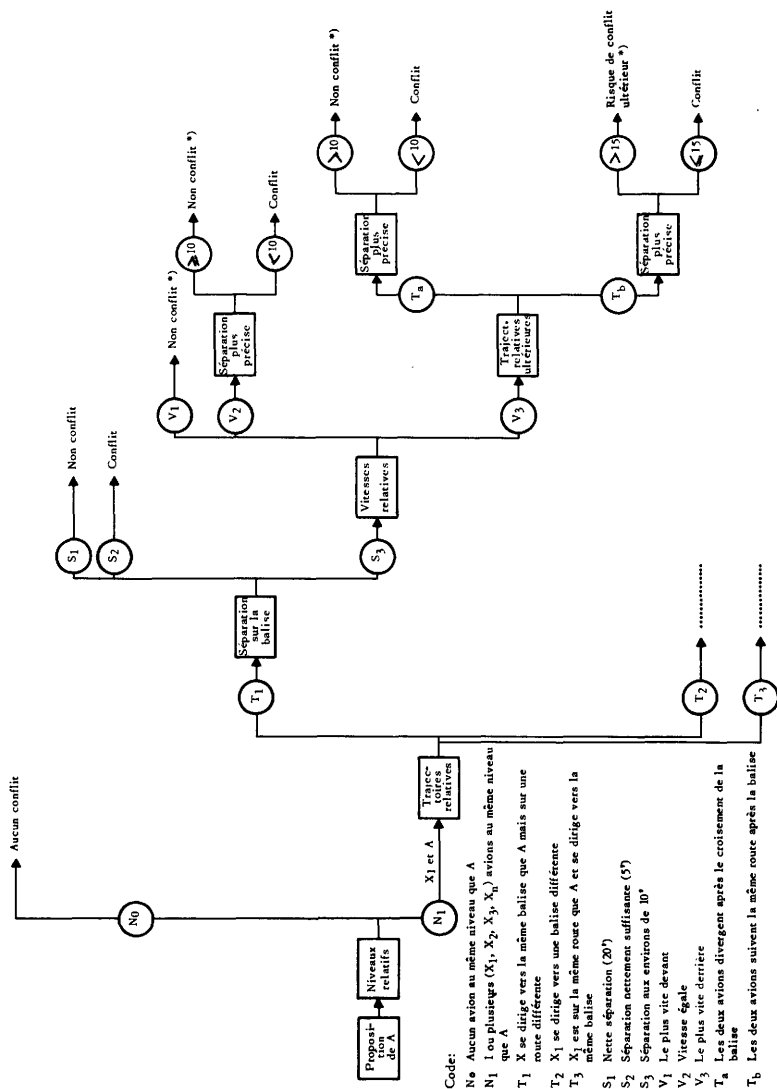


Figure 8: Exemple simplifié d'ordonnographie appliqué à une consigne de fabrication (cas d'une fabrication continue). (D'après de MONTMOLLIN, 1961).



*) Lorsqu'il n'y a pas de conflit avec X on recommence le processus avec un autre appareil présent dans le secteur X_2 et ainsi de suite jusqu'à ce que tous les appareils au même niveau que A aient été examinés.

Figure 9: Début d'un organigramme de traitement de l'information (d'après LEPLAT et BISSERET, 1965).

atteindre l'objectif) de l'activité des opérateurs est celle qui est consacrée à répondre aux perturbations affectant le processus de production. Il sera souvent nécessaire de prévoir une description spéciale, détaillée de ce travail dit de "contrôle des perturbations". Aussi le mode de description à employer mérite-t-il d'être examiné ici en particulier.

HERBST, dans un texte inédit à notre connaissance, a tenté d'analyser, sur un plan général, la structure des processus de contrôle. La typologie à laquelle il aboutit entre dans des préoccupations dites "socio-techniques" qui n'ont pas leur place ici, pour l'instant. Cependant, ayant préalablement décrit un processus général, il fournit là un modèle intéressant pour appréhender l'activité des opérateurs en situation concrète.

On retiendra notamment le tableau qu'il établit des différentes phases de ce processus présentées dans l'ordre chronologique (tableau I). Les phases distinguées peuvent évidemment être subdivisées en parties plus fines : par exemple la phase détection pourrait se scinder en détection proprement dite (c'est-à-dire constater qu'il s'est produit ou qu'il se produit quelque chose) d'une part, et en identification (reconnaître la nature anormale de ce quelque chose) d'autre part. Toutefois il y aurait, semble-t-il, intérêt à ajouter à cette série une phase supplémentaire : la récupération. La plupart du temps, en effet, il ne suffit pas d'éliminer la perturbation pour que ses effets disparaissent. Il est nécessaire de déclencher une action correctrice pour ramener l'ensemble de la situation dépendant du système, dans les normes formellement définies.

HERBST note justement qu'il faut aussi compter avec les perturbations susceptibles de se produire pendant le contrôle même. C'est le cas des accidents survenant au cours du contrôle d'un incident, récemment étudié par DEFOIN(1966)(13) dans les mines. En outre de telles perturbations exigent, et cela est parfois fort gênant, d'être supprimées avant les perturbations premières.

TABLEAU I

Phases d'un processus de contrôle des perturbations

(d'après HERBST)

Phase	Description
1. Détection	Perception que quelque chose ne va pas
2. Diagnostic	On trouve ce qui ne va pas
3. Plan	Trouver les méthodes possibles pour éliminer les perturbations
4. Décision	Décider d'une méthode à employer et de l'affectation des hommes et des ressources
5. Exécution	Appliquer la décision
6. Contrôle	Vérifier si la perturbation a été éliminée

La réalisation de ces phases successives suppose bien entendu un certain nombre d'exigences qui seront à énumérer et à préciser quant à leur contenu : rapidité des événements, nature des signaux, délais de réponse, contraintes d'ambiance, etc.

Le processus de contrôle mobilise un ou plusieurs individus. Ce dernier cas semble d'ailleurs le plus fréquent dans le domaine du contrôle à distance. L'exécution peut alors intéresser différents points de l'organisation et le niveau de différenciation des phases de contrôle pourra correspondre au niveau de la différenciation opérée pour décrire l'organisation. Un diagramme sera utilisable pour montrer à quel niveau (opérateur seul, équipe de

travail, chef de poste, contremaître...) se situe le processus. Un exemple de structure ainsi représentée est donné par la figure 10.

La perturbation a été détectée par l'un des ouvriers, puis communiquée aux autres membres de l'équipe qui eux-mêmes l'ont communiquée au chef d'équipe qui la communique à son tour à des personnes de l'extérieur appelées en consultation pour en découvrir la cause. Le diagnostic a été donné au chef d'équipe qui a réfléchi à toutes les façons possibles de résoudre le problème, a choisi une méthode, a transmis ses instructions à un de ses ouvriers pour l'appliquer et a vérifié si la perturbation a bien été supprimée. L'auteur estime que le diagramme permet non seulement de voir plus clairement l'ensemble du processus, mais également de déterminer les types théoriques de processus possibles. Les temps mis pour accomplir chaque phase fourniraient des renseignements complémentaires utiles à l'évaluation.

Les principales étapes de la description ayant été passées en revue au travers des procédés qui ont semblé les plus utiles en ce qui concerne l'étude des systèmes de contrôle à distance, on abordera maintenant le véritable travail d'analyse.

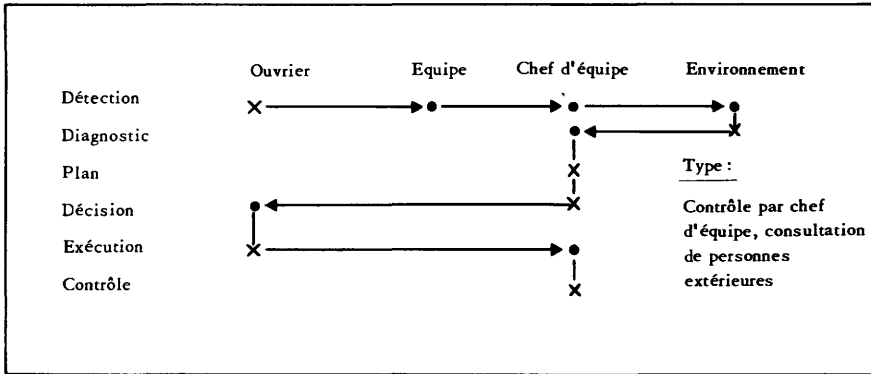


Figure 10: Diagramme de contrôle (Herbst)

III - LES FONCTIONS HUMAINES DANS LES SYSTEMES

1) Fonction du système et fonctions des composants :

Lorsqu'on parle de fonctions humaines dans un système, on s'intéresse précisément à ce que représente l'activité du composant "homme" (dont il a été précédemment question au niveau de la description) pour le fonctionnement de l'ensemble du système. Il est nécessaire de bien distinguer les fonctions des composants "homme" et "machine", d'une part, et la (ou les) fonction (s) du système, comme unité, qui participe du but assigné au système au sein de l'organisation générale. Le lien existant entre ces deux types de fonction est évidemment que la fonction du système implique les fonctions des composants de celui-ci et leur interaction.

L'idée découlant de cette remarque est celle de répartition des fonctions intra-système entre l'homme et la machine. Il est facile de saisir que la performance du système peut dépendre, dans une large mesure, de la pertinence de cette répartition dans un cas déterminé. C'est un des aspects dont se préoccupe actuellement l'ergonomie et particulièrement l'ergonomie de conception qui intervient au stade des projets de système. Ce que cherchent à obtenir les spécialistes, c'est un découpage satisfaisant, à la fois, du point de vue des capacités respectives des composants et de celui de l'articulation de leurs activités. Avec le perfectionnement des machines ce problème est devenu l'un des plus importants pour l'aménagement des tâches modernes, dont celles de contrôle à distance.

2) Comment définir les fonctions de l'homme dans le système :

L'homme et la machine étant articulés au sein du même système, on a essayé de définir les fonctions de ces deux éléments avec les mêmes modèles : les plus souvent proposés ont été les modèles de régulation et les modèles de machines à traiter l'information. Ces modèles fournissent un cadre de référence pour

l'analyse des systèmes et permettent au psychologue et à l'ingénieur l'utilisation d'un langage commun. Il faut évidemment se garder de croire que ces modèles reproduisent les mécanismes mis effectivement en jeu par l'opérateur. Ils ont plus modestement pour but de montrer comment pourrait se traduire l'action de l'opérateur dans le système, quel type de dispositif pourrait à sa place donner des résultats voisins.

a) Les modèles de régulation :

"Un système de régulation ou un système asservi est un système dont le fonctionnement est régi par les écarts de son comportement effectif ou instantané, par rapport à son comportement assigné" (NASLIN, 1958, p. 13)(56).

Une représentation simple d'un tel système est indiquée à la figure 11. Les variables essentielles sont les suivantes :

- r e constitue la grandeur de référence ou d'entrée et figure le but à atteindre,
- s est la grandeur réglée ou grandeur de sortie comparée avec la grandeur de référence grâce à un circuit de "feedback",
- ⊖ Symbole de soustraction.
A l'intérieur du pointillé, les fonctions souvent attribuées à l'opérateur humain.
- i est la grandeur réglante qui agit sur le fonctionnement du système,
- P résume les facteurs de perturbation qui peuvent s'exercer sur le système : c'est la grandeur perturbatrice.

L'écart entre les grandeurs de référence et de sortie ($r - s$) agira sur le régulateur dont la fonction est finalement de s'opposer aux perturbations.

A l'intérieur d'un système, l'homme assure souvent des fonctions de régulation. Si des perturbations se produisent, il prend des mesures pour que le système continue à remplir les buts fixés. L'homme joue ce rôle parce qu'il perçoit les écarts entre les objectifs et les résultats actuels et qu'il peut modifier en fonction de ces écarts le mode de fonctionnement du système. HICKEY, WESLEY et BLAIR(1958)(33) ont décrit les activités d'opérateurs en ces termes. Plus récemment FAVERGE et DELAHAUT(1965)(19) ont analysé plusieurs postes d'un laminoir à l'aide de ce modèle, notamment celui d'opérateur de dispatch. Dans ce cas, la grandeur de référence est figurée par la feuille de planning qui mentionne les exigences de production pour une période donnée. La grandeur réglée, c'est la production elle-même exprimée en nombre, qualité et catégorie de lingots. La grandeur réglante est constituée par les instructions que l'opérateur de dispatch donne au service de production, le programme de laminage. Parmi les grandeurs perturbatrices figureront les variations de qualité des lingots à laminier. Un système de ce type est caractérisé par une constante de temps qui indique le temps qui s'écoule entre la sortie de la grandeur réglante et l'effet qui en résulte à l'entrée du régulateur.

FAVERGE (1967)(20) distingue deux grands types de régulation, par sommation et par coup d'arrêt. Le premier exprime que l'action est réglée en fonction de l'écart entre une production globale à atteindre et celle effectivement réalisée à un moment donné. Le second désigne cette régulation discontinue qui intervient seulement lorsque l'écart Ω e $-\Omega$ s dépasse une certaine limite.

On a aussi essayé d'analyser le comportement de l'opérateur humain à partir d'une hiérarchie de systèmes de régulation (POWERS, CLARK et Mc FARLAND, 1960)(65).

Les grandeurs d'entrée et de sortie peuvent être de nature très diverse ainsi que les opérations confiées au régulateur. On

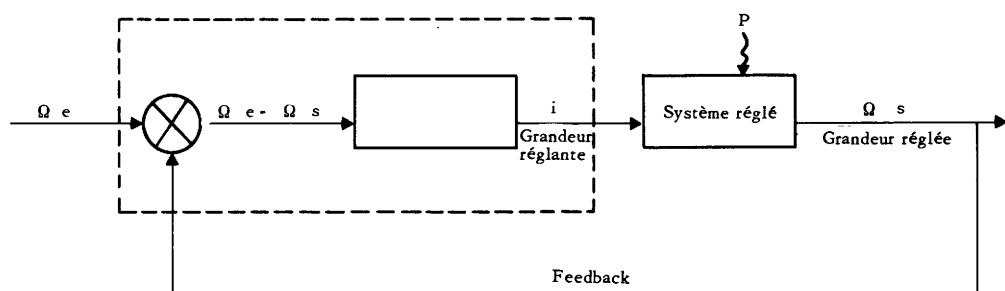


Figure 11 : Schéma fonctionnel d'un système de régulation simple

La définition des buts du système permet généralement de répondre complètement à ces questions. Il est souhaitable que l'opérateur ne fasse ni plus ni moins que ce qui est exigé. Pour le moins, on lui demandera d'appuyer simplement sur un bouton chaque fois qu'un changement apparaîtra sur la courbe; il n'aura pas à se préoccuper de la nature de ce changement. Cela correspond à une première catégorie de fonction nommée RECEPTION (sensing).

A un niveau plus élevé d'exigence, il sera demandé à l'opérateur de surveiller, par exemple, la forme de la courbe et d'apparier celle-ci à un bouton du dispositif. Autrement dit, la fonction de l'opérateur sera d'IDENTIFIER un certain nombre de classes de configurations. L'idée de hiérarchie se dégage déjà à ce stade : l'identification de différentes formes de la courbe suppose, en effet, la possibilité de recevoir les variations de celle-ci.

Au niveau le plus élevé, selon l'auteur, l'homme sera chargé de classer les signaux reçus en tenant compte de leurs effets ou significations. Par exemple, l'allure d'une courbe lui indiquera comment fonctionne une installation productrice et il devra choisir son mode de réponse de manière à obtenir et à maintenir le rendement désiré. La fonction ainsi assumée entre dans la catégorie de l'INTERPRETATION. C'est celle qui tend souvent à être réservée à l'homme dans les systèmes modernes. L'inclusion de la catégorie précédente est également facile à constater : pour pouvoir dire qu'une courbe correspond à tels effets il faut l'avoir située dans une classe : on ne peut interpréter sans identification préalable. GAGNE fait reposer sa hiérarchisation à la fois sur les relations d'inclusion mentionnées et sur l'idée d'une difficulté croissante, à concevoir une machine capable d'exercer la fonction à la place de l'homme. Ce point de vue est évidemment d'un grand intérêt en ce qui concerne le problème évoqué dans cette partie, à savoir la répartition des fonctions à l'intérieur du système.

trouvera un examen détaillé de ces problèmes pour le cas des tâches de poursuite dans BIRMINGHAM et TAYLOR (1954)(4) et RAOULT (1962)(67). Leurs analyses sont très intéressantes sur le plan méthodologique, mais elles regardent des tâches qu'on rencontre très peu dans l'industrie.

Les opérations que l'homme doit effectuer pour remplir son rôle de régulateur sont extrêmement variées et souvent très complexes. On a essayé de les décrire en termes des fonctions de calculateur : le paragraphe suivant sera consacré à une de ces tentatives.

b) Description en termes de fonction de calculateur :

Cette description, elle non plus, ne vise pas à rendre compte des mécanismes internes effectifs de l'opérateur, mais cherche à relier l'entrée et la sortie (de l'opérateur considéré lui-même comme un système) par des mécanismes ayant un support technologique. Il s'agit donc de construire non pas un modèle du fonctionnement mental proprement dit mais, en quelque sorte, un modèle à caractère analogique.

Parmi les tentatives faites dans ce sens, celle de GAGNE (1962)(26) paraît mériter une attention particulière. Cet auteur, distinguant différents types de relation entrée-sortie, propose qu'à ces types de relation soient associées des catégories de fonctions humaines appartenant à une structure hiérarchisée : la catégorie des fonctions de niveau supérieur inclut toutes les autres.

Dans l'exemple simple de l'opérateur ayant à contrôler un oscilloscope, il est indispensable de répondre aux questions suivantes :

- que faut-il retenir de la courbe apparaissant sur l'écran?
- comment faut-il agir sur les boutons selon les caractéristiques retenues ?

3) L'analyse des fonctions humaines en termes de traitement de l'information transmise :

La catégorisation établie par GAGNE constitue un guide utile pour l'analyse pratique des systèmes de contrôle existants. Il semble cependant qu'il faille se garder d'assimiler hâtivement ces catégories, dont la définition (on l'a mentionné déjà) reste très liée à des variables extérieures à l'homme, à de pures fonctions psychologiques dont la véritable nature relève d'une étude beaucoup plus complexe. L'auteur du travail cité ici ne semble pas avoir marqué suffisamment la distinction qui était à faire : il laisse croire, à plusieurs reprises, que la structure fonctionnelle qu'il décrit se retrouve réellement chez l'individu (voir notamment l'introduction de l'article p.34).

a) Les conditions requises aux différents niveaux de fonctions :

Averti des limites de cette représentation, on peut y recourir avec profit dans le cas d'une étude à objectif pratique. Pour chaque catégorie distinguée, cinq types de conditions d'entrée sont à considérer qui en permettent la détermination :

1. Exigences minimales de présentation : le minimum d'indices à présenter à l'opérateur pour qu'il puisse prélever l'information nécessaire et suffisante.
2. Conditions de filtrage : spécification des signaux auxquels l'opérateur doit répondre (si on lui demande d'identifier des formes de courbe, il ne devra pas tenir compte de la brillance de celle-ci).
3. Conditions de dérivation (shunting) : spécification du type de transformation demandée à l'opérateur (s'il s'agit d'identifier des configurations, l'opérateur devra éviter d'indiquer la signification de celles-ci). Lorsque la fonction appartient à la catégorie inférieure ou intermédiaire, il n'est pas souhaitable qu'une fonction d'un

niveau supérieur entre en jeu : elle doit être mise "hors circuit".

4. Mémoire à court terme : mise en réserve, pour une utilisation opportune, des instructions reçues; possibilité de modifier celles-ci rapidement et fréquemment.
5. Mémoire à long terme : conservation de modèles et de règles d'action de routine.

Ces différentes conditions sont précisées par GAGNE pour chaque variété de fonction. Il en tire une représentation schématique très claire reproduite figure 12 où l'on voit apparaître l'emboîtement qui résulte de la hiérarchisation.

Dans le cas de la réception, les conditions de filtrage centrent l'attention sur la différence particulière qui est à détecter et que la signalisation doit faire apparaître à un degré minimal. D'un autre côté, les conditions de dérivation tendent à écarter l'identification et l'interprétation. Ces deux conditions issues d'instructions ou de l'expérience sont gardées dans les deux types de mémoire mentionnés.

Pour la fonction d'identification, les exigences minimales de présentation intéressent deux (ou plus) aspects de stimulation correspondant différentiellement à un nombre identique de réponses. La mémoire la plus importante est celle des modèles (mémoire à long terme) auxquels les signaux reçus sont comparés et identifiés.

Dans le cas de l'interprétation, l'opérateur doit utiliser des règles conservées dans la mémoire à long terme et qui permettent de classer les signaux reçus dans des catégories "d'effets attendus". Lorsque l'individu interprète des signaux en faisant appel à un ensemble de règles non prévues à l'origine pour la situation où il se trouve, on parle alors d'invention.

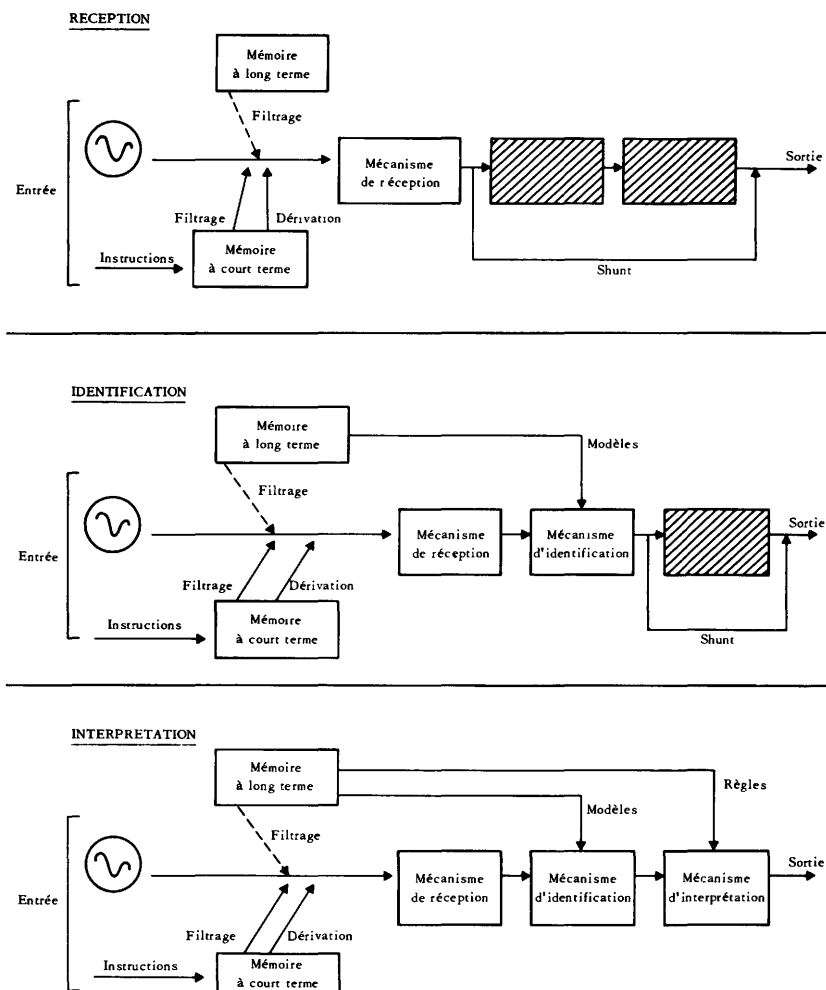


Figure 12: Les trois principales catégories de fonctions humaines (d'après GAGNE, 1962).

b) Les limites de l'homme et de la machine dans les différents types de fonctions :

Les différentes fonctions ainsi décrites dans un langage acceptable à la fois pour l'homme et pour la machine, il vient naturellement à l'idée d'essayer de comparer les capacités respectives des deux composants pour l'exercice de chaque catégorie de fonctions. Cette confrontation systématique apparaît d'une grande utilité pour l'ergonome au moment d'évaluer les conséquences possibles de telle ou telle distribution de responsabilité entre les éléments du système. Sa réalisation suppose une connaissance des possibilités des machines modernes en même temps qu'une connaissance des caractéristiques psychophysiologiques de l'homme en général. Le tableau II reproduit une partie de l'exemple proposé par GAGNE (voir aussi CHAPANIS, 1960). Il en ressort que, dans la limite des fonctions considérées, la supériorité de la machine sur l'homme est particulièrement marquée en ce qui concerne la gamme des variations énergétiques recevables, les capacités de rétention et la rapidité d'utilisation des règles de travail. En revanche, l'homme surpasse la machine par ses facultés d'adaptation aux modifications de dimension d'un stimulus, sa facilité à changer rapidement de programme d'exécution et la possibilité qu'il a de se donner lui-même de nouvelles instructions, compte tenu de changements aléatoires dans les indications reçues. Il est à remarquer qu'un tableau de ce genre ne peut actuellement être que provisoirement valide : des progrès aussi bien dans le domaine de la technologie que dans celui des sciences de l'homme conduiraient à la réviser ou à en préciser certains éléments. En outre, la généralité des indications fournies réduit finalement son utilité. (On pourra consulter à ce sujet la critique de CHAPANIS, 1960)(8).

TABLEAU II

Quelques comparaisons des limites relatives de l'homme et de la machine pour l'exercice de la fonction d'identification
(d'après GAGNE, 1962) (26)

Conditions d'exercice par fonction	Limites	
	Homme	Machine
IDENTIFICATION		
Présentation	Peut varier sur une étendue relativement large de dimensions physiques. Capacité du "canal" faible.	Peut varier seulement sur une étendue très réduite de dimensions physiques. Grande capacité du "canal".
Filtrage	Facile à reprogrammer.	Difficile à reprogrammer.
Mémoire	Limites à la complexité des modèles probablement assez élevées mais non connues avec précision. Limites à la longueur des séquences répétitives assez élevées mais nécessité d'un certain temps pour les constituer.	Limites potentielles du niveau de complexité très élevées. Limites potentielles à la longueur des séquences très élevées.

IV - INTEGRATION DE L'OPERATEUR HUMAIN DANS LE SYSTEME

L'analyse des fonctions assumées par chacun des composants du système doit logiquement être suivie d'un examen des problèmes posés par l'union (ou couplage) de ces composants, ceci en vue d'optimiser la performance du système. Ces problèmes se rapportent donc essentiellement à l'aménagement des communications à l'intérieur du système. On peut les recenser à partir de la figure 13 qui fournit un schéma de représentation structurelle d'un système de contrôle à distance. En (1) et en (2) se poseront des problèmes techniques : il s'agit de définition des informations utiles au contrôle du processus et des actions à exercer sur le champ de travail (le matériau, le milieu, etc.). Une partie des informations pourra être traitée directement par la machine dans le cas d'un système automatisé (boucle (3)). Une autre partie devra être traitée par l'homme après avoir été codée par le dispositif de signalisation. Ce codage devra être adapté aux actions à exercer sur le dispositif de commande. Le rapport entre (4) et (6) est examiné notamment au titre de la compatibilité et stéréotypes. Lorsque l'opérateur se représente le phénomène contrôlé ou peut le percevoir directement, les rapports entre (4) et (5) seront importants et poseront les problèmes de sémantique, c'est-à-dire de rapport entre le signal et le phénomène signalé. Le rapport entre l'action et les résultats directement perçus ((6) et (7)) illustre le problème du réalisme des commandes. Des informations parviennent aussi à l'opérateur par le canal de documents de travail divers qui viennent assister la mémoire humaine.

On examinera maintenant les problèmes ainsi illustrés : on renverra aux ouvrages généraux d'ergonomie pour les résultats classiques et on développera quelques points moins connus ayant fait l'objet d'études récentes.

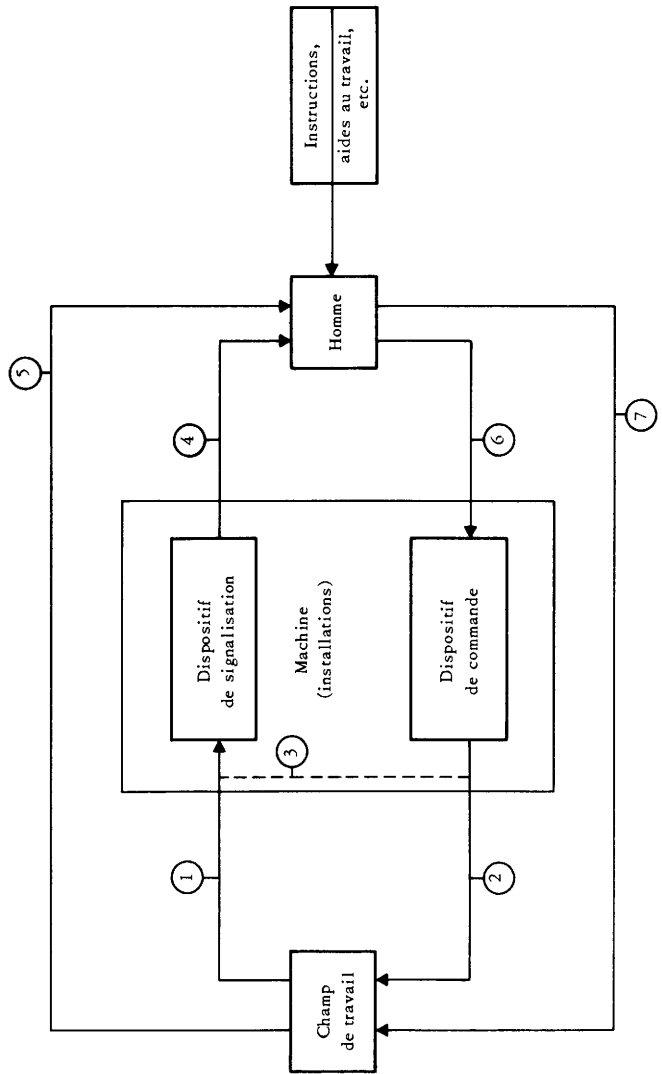


Figure 13 : Schéma général d'un couplage homme-machine. (Pour la signification, voir le texte.)

1) Présentation des informations :

La présentation des informations soulève plusieurs catégories de problèmes qu'on peut regrouper dans les trois catégories suggérées par GAGNE et exposées précédemment.

a) Réception :

Le signal présenté doit pouvoir être reçu : c'est-à-dire avoir une intensité suffisante. Le problème de la détection du signal, qui fait déjà intervenir une discrimination simple entre signal et bruit, est très voisin. Les tâches de vigilance qui ont été très largement étudiées au cours de ces dernières années ont permis de dégager les mécanismes et les variables essentiels intervenant à ce niveau (voir par exemple BUCKNER et Mc GRATH, 1963 (5); FRANKMANN et ADAMS, 1962 (25); de MONTMOLLIN, 1967, p.55 sq (53)). Dans les dispositifs de contrôle à distance, on rencontrera peu de problèmes de ce type, les signaux ayant en général une valeur nettement supra-liminale. Les problèmes de modification de l'efficacité par le travail prolongé sont différents et ne seront pas étudiés ici. On pourrait mentionner aussi ici le problème de l'avertissement. L'avertissement d'une intervention à entreprendre peut être donné par un signal sonore qui n'exige pas de réaction d'orientation. Les signalisations intermittentes sont plus perceptibles et constituent de bons avertisseurs (exemple GERATHEWOHL, 1956 (28)). Enfin les systèmes d'avertissement différencié qui distinguent interventions urgentes et interventions différables peuvent être très utiles. Un exemple en est fourni par SHAKEL (1962)(70) pour un calculateur.

b) Identification :

Une fois reçu, le signal doit être catégorisé. Les arrangements propres à favoriser la discrimination ont fait l'objet de très nombreuses recherches : étude des cadrans, de leur groupement, de la lisibilité des caractères, des ensembles de signaux discriminables avec le minimum d'erreurs, etc. On consultera

sur ce point les manuels classiques, en particulier celui de MORGAN, COOK, CHAPANIS et LUND (1963) (54).

Ces problèmes de discrimination ont reçu un début de formalisation grâce à l'application de la théorie de l'information (GARNER, 1962) (27).

Les tâches qui consistent à rechercher les signaux utiles sur un ensemble et qui mettent en jeu des mécanismes d'exploration perceptive ont fait également l'objet de nombreuses études dont on trouvera un commentaire et une bibliographie dans LEPLAT, 1965.

c) Sémantique des signaux :

Dans les installations de contrôle à distance, l'homme travaille plus souvent selon le modèle d'interprétation que selon le modèle d'identification. Il ne lui suffit pas de discriminer les indications des instruments de signalisation mais de découvrir leur signification, c'est-à-dire de les relier à un état déterminé du système. Les problèmes de sémantique vont prendre alors toute leur importance. Le signal n'aura pas seulement à être bien vu, mais aussi à être bien compris, c'est-à-dire qu'il devra évoquer le phénomène représenté. Au problème du codage-définition des différentes catégories à discriminer vient donc s'ajouter ici celui de l'interprétation, c'est-à-dire du sens conféré à ces catégories. Les études sur ce point sont encore assez peu nombreuses.

1) Les différents types de représentation :

On a défini en ergonomie deux grandes catégories de codes : les codes imagés et les codes symboliques (CHAPANIS, 1949). Les codes imagés comportent des signaux qui suggèrent le phénomène représenté. A la limite, ils sont une photographie de ce phénomène, comme dans le cas de présentation d'une partie du système sur un écran de télévision à circuit court. On peut aussi ne retenir que des aspects caractéristiques du phénomène. Par exemple

on représentera la vitesse par l'allure de défilement d'une bande hachurée.

Les codes symboliques, en revanche, utilisent des signaux dont la relation avec le phénomène repose sur une convention où la part d'arbitraire est plus ou moins importante. La vitesse sera traduite sur un cadran en km/h, la position par une ou plusieurs indications numériques, etc.

La distinction qui vient d'être présentée rappelle celle qu'a proposée PIAGET (1963)(62) entre symbole et signe. Cet auteur parle de symbole quand il existe une parenté ou ressemblance entre signifié et signifiant, et de signe quand le rapport entre ces deux derniers est arbitraire, non motivé comme disent les linguistes. Il résulte de ces deux types de terminologie que le mot de symbole a une signification ambiguë⁽¹⁾ qui devra être précisée quand le contexte n'est pas suffisant.

2) Efficacité comparée des codes :

Quelques expériences ont été faites sur ce point important qui apportent quelques résultats utiles.

On s'est d'abord demandé quelles caractéristiques devaient posséder les représentations susceptibles d'évoquer l'objet avec le plus d'efficacité. On a généralement pris comme critère dans ces études le temps nécessaire à l'identification et la fréquence des erreurs observées au cours de celle-ci. La première recherche consacrée à ce problème est due à RYAN et SCHWARTZ (1956)(69). Ces

(1) cf. P. GUIRAUD (1966)(30) : "La terminologie n'est malheureusement pas fixée; et le mot symbole est pris dans les sens les plus divers, selon les auteurs".

auteurs présentaient trois objets (main, groupe de cinq coupe-circuit, soupape) dans quatre positions différentes. Chacune des douze figures était représentée sous 4 formes : photographie, dessin ombré, dessin au trait, schéma. Le temps de reconnaissance tachistoscopique était le plus faible pour le schéma, puis venaient la photographie et le dessin ombré, enfin le dessin au trait.

LOMOV (1963, cité par POPESCU-NEVEANU et al, 1964 (64)) a étudié avec une méthode voisine trois formes de présentation : dessin colorié, dessin ombré et schéma; les résultats classent les représentations dans cet ordre.

Dans une étude de FRAISSE et ELKIN (1963)(23) ont été comparés quatre modes de représentation : objet réel, photographie, dessin ombré, dessin au trait. Les dessins ombrés sont aussi bien perçus que les objets et viennent au premier rang; ensuite on trouve les photos et finalement le dessin au trait.

Ces expériences montrent que le mode de représentation peut avoir une grande influence sur l'efficacité de l'identification. Mais les résultats sont peu comparables, les caractéristiques des représentations n'étant pas les mêmes dans tous les cas.

L'étude de POPESCU-NEVEANU, IOSIF et ENE (1964)(64) essaye de mieux cerner les variables différenciant un ensemble de dessins d'un même appareil. Il s'agit de quatre appareils de l'industrie pétro-chimique : four circulaire, régénérateur de catalyseur, vaporisateur et colonne O. Les six représentations de chaque appareil variaient selon le nombre de caractéristiques du contour retenu et selon que les éléments intérieurs de construction étaient ou non représentés. L'auteur décrit ainsi les différentes variantes dont un exemple est donné figure 14.

- "Complexité maximum correspondant à l'appareil réel.
- Complexité moyenne I où certains détails du contour

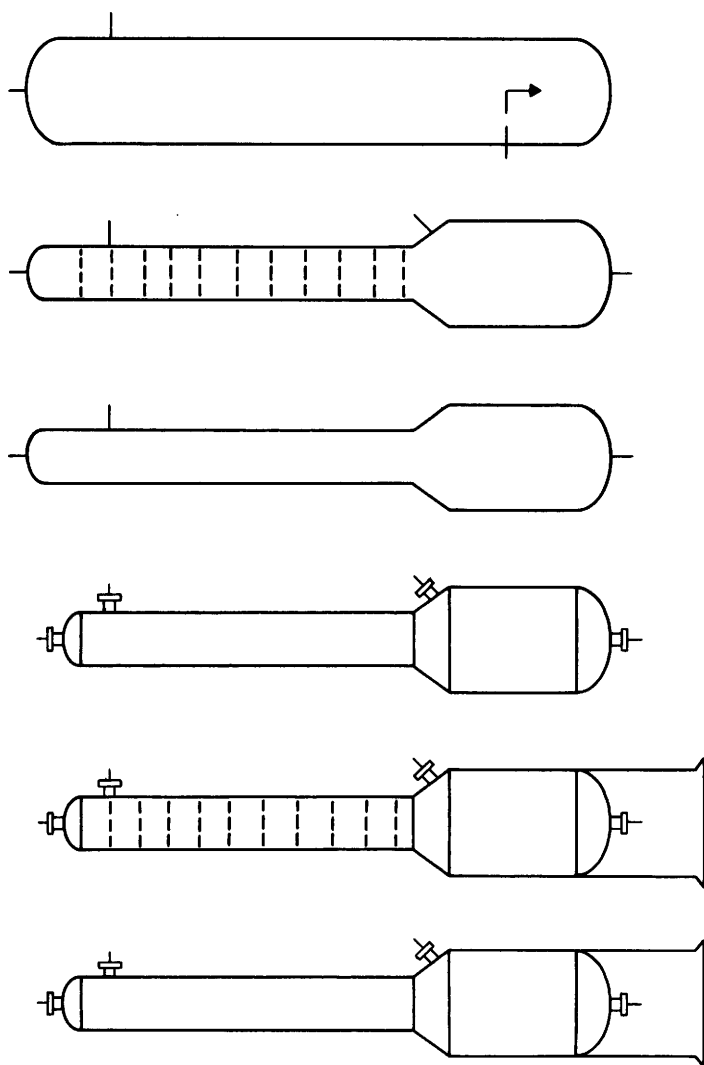


Figure 14: Présentations diverses d'un élément d'installation (d'après POPESCU-NEVEANU et al, 1964).

étaient omis, mais les lignes essentielles de ce contour nettement marquées.

- Complexité moyenne II où plusieurs détails du contour étaient omis; schémas simplifiés, représentation schématique du contour réel de l'appareil, avec le minimum indispensable de détails de ce contour".
- Présence ou absence sur ces schémas d'éléments intérieurs.

On utilise une présentation tachistoscopique et les sujets sont des opérateurs de raffinerie et des étudiants.

Il apparaît un niveau optimal de complexité correspondant au niveau moyen. Seraient donc un obstacle à l'identification, à la fois la surabondance de détails qui joue le rôle de bruit et la schématisation trop poussée qui élimine des indices importants. Toute construction de schéma devra donc reposer sur l'identification des traits pertinents de l'objet ou du dispositif à représenter. Ces traits peuvent varier avec le groupe et le mode d'identification (dispositif isolé ou dans son ensemble fonctionnel).

Les éléments intérieurs constituent des indices supplémentaires propres à favoriser l'identification, notamment chez les opérateurs expérimentés.

On a aussi comparé des types de codage différents. FRAISSE (1964)(24) présente des images et des figures géométriques et les noms de ces figures. Il enregistre les temps de réaction verbale, réaction qui, dans le premier cas, consiste à dénommer et, dans le second, à lire. Ce temps de réaction à la dénomination est le plus court.

De MONTMOLLIN et MORIN (1967) comparent trois types de codes désignant des sports, codes qu'ils nomment symbolique, abstrait, verbal. Le code symbolique (au sens de PIAGET) est constitué par

des pictogrammes (un cercle noir représente le poids, deux cercles le cyclisme, une ligne ondulée la natation, etc.). Le code abstrait est constitué de deux lettres dont l'une est l'initiale du mot, l'autre celle du sous-ensemble auquel appartient ce mot (ex. publicité pour cyclisme, été pour natation) (ex. S/P pour le poids, sport pratiqué seul). Enfin le troisième code est constitué par un mot déterminé au cours d'une étude préliminaire d'association. L'expérience consistait à traduire les mots codés. Le code pictographique est le meilleur pour les deux critères, erreur et temps de réaction. Le code abstrait vient au second rang pour les erreurs et au dernier pour la rapidité.

3) Avantages comparés des codes imagés et symboliques :

Les codages symboliques, seuls utilisables pour certaines variables, ont le grand avantage de pouvoir présenter les informations dans une petite place et avec une grande précision. Ainsi l'indication de la vitesse fournie par un cadran pourra toujours être plus précise que celle apportée par l'allure de défilement d'une bande hachurée. Les codages imagés, par contre, sont facilement interprétables puisque, comme le dit CHAPANIS (1949), ils donnent une "miniature de la chose réelle". Cette caractéristique des codes imagés explique leur intérêt pour la formation. Ils sont plus facilement utilisables par des populations de bas niveau culturel, comme le note de MONTMOLLIN (1967, p. 105) (53).

CHAPANIS (1949) signale le large usage qui a été fait aux Etats-Unis pendant la dernière guerre mondiale des dispositifs de formation qui "simulaient les choses réelles d'une manière aussi réaliste que possible" et qui ont permis "d'économiser des millions de dollars par an".

On a essayé parfois de combiner les avantages des deux types de codage dans des indicateurs originaux : un exemple en est donné dans MORGAN et al (1963, p. 108).

4) Classification des systèmes de signaux :

La sémiologie nous propose une classification des systèmes de signalisation qui peut être très utile. Dans ce qui suit, on s'inspirera essentiellement du livre de PRIETO (1966)(66), en particulier de son chapitre sur la "systématique sémiologique". L'auteur, reprenant une distinction des linguistes, définit deux articulations dans les signaux.

Un système de signaux présente la première articulation quand il peut être décomposé en signaux élémentaires ayant eux-mêmes une signification. Par exemple le signal du code de la route "interdit aux cyclistes" peut être décomposé en deux signaux élémentaires : blanc cerclé de rouge qui signifie interdit - et qu'on retrouve dans d'autres signaux d'interdiction - et la bicyclette qui figure aussi dans d'autres signaux. La signification du signal résulte alors de la combinaison des significations des signaux élémentaires. Un système de signaux présente la seconde articulation quand les signaux sont décomposables en éléments communs, n'ayant aucune signification. Par exemple les signaux du code morse comportent des points et des tirets qui n'ont isolément aucune signification.

L'introduction d'une double articulation dans un système de signaux présente des avantages importants. Elle permet notamment de diminuer le nombre de classes à mémoriser puisqu'un signal particulier résulte de la multiplication logique de classes plus larges. Inversement, la lecture du signal apporte une information qui peut être identifiée plus rapidement. Par exemple, si les éléments d'une installation sont codés, le code qui consiste à associer un numéro à chaque appareil sera plus difficile à mémoriser et à décoder que celui où chaque appareil est désigné par trois chiffres, chacun d'eux correspondant respectivement à la localisation géographique de l'appareil, l'ensemble fonctionnel auquel il appartient et son identification dans cet ensemble.

On trouvera dans PRIETO une classification des systèmes de signaux en quatre catégories selon que ceux-ci possèdent ou non la première et la seconde articulation. L'évaluation de ces catégories constituera un objectif important des travaux ergonomiques.

5) Les tableaux de signalisation et la combinaison des informations codées :

Les informations élémentaires dont le codage vient d'être discuté doivent souvent être elles-mêmes combinées pour définir l'état du système ou d'une partie de ce système. Le problème est alors de définir la position des différents indicateurs sur le tableau, de telle sorte que l'information sur le système puisse être prélevée le plus facilement possible et sans erreur. Ce problème est extrêmement complexe et comporte de multiples facettes. C'est tout le dialogue entre l'homme et la machine qu'il faut organiser ici : il faut trouver un vocabulaire et une syntaxe. Le vocabulaire peut être imposé à l'opérateur : il n'en est pas de même pour la syntaxe. L'opérateur constitue ses "phrases" en explorant son tableau et ce comportement ne peut être tout à fait dirigé. On peut toutefois essayer d'agir sur lui par la disposition des indicateurs sur le tableau. On sait en effet que le mode d'exploration d'un dispositif peut être influencé très fortement par la structuration de celui-ci (un exemple simple en est fourni par BAKER, 1959; voir aussi la revue de question de LEPLAT, 1962 (42). En outre cette exploration dépend de la connaissance que l'opérateur possède sur le processus contrôlé. Cet opérateur n'est pas passif devant son dispositif, il cherche l'information utile, l'attend à des endroits qui varient selon les moments.

Toutes ces remarques montrent la complexité de l'aménagement du tableau et la multiplicité des variables qui interviennent. Peu d'études systématiques existent sur ce sujet et il est difficile de définir des règles précises (cf. EASTERBY, 1966 (15). Toutefois, la condition suivante est essentielle: l'aménagement ne peut être conçu sans

connaissance approfondie du processus et des fonctions de l'opérateur humain dans le système. On rappellera ici les variables essentielles susceptibles d'intervenir dans la conception du tableau.

- Importance des informations : il sera utile de définir l'importance relative des informations de façon à mettre en meilleure place celles qui sont les plus essentielles. Cette notion d'importance n'est pas elle-même très simple et peut concerner la sécurité, la qualité du processus, etc.
- Fréquence d'utilisation des informations. On pourra la définir soit à partir de l'analyse des fonctions de l'homme dans le système, soit à partir d'observations sur le système en place ou simulé.
- Séquences d'utilisation. A partir du schéma théorique de l'activité ou de l'observation systématique, on pourra dresser la matrice des séquences d'utilisation. Grâce à celle-ci, peut être préparé et validé un projet de groupement des indicateurs. Un critère de la qualité de groupement pourra être le rapport $\frac{a}{b}$ (a : nombre de passages d'un instrument à un autre du même groupe; b : nombre de passages d'un instrument à un autre d'un groupe différent). On cherche par ce moyen à minimiser les déplacements du regard.
- Fonction des indicateurs. Certains appareils sont relatifs à une même fonction : leurs indications doivent être synthétisées pour que l'état de tout ou partie du système puisse être défini. Il sera important de déterminer ces groupes fonctionnels qui pourront être mis en évidence par une structuration adéquate du tableau. Un exemple en est donné par SHAKEL (1962)(70) à propos d'un pupitre de calculateur.
- Sémantique de l'organisation du tableau : la disposition des indicateurs sur le tableau constitue une forme de codage et

son rapport au phénomène codé se pose. Une première forme imagée de disposition consiste à reproduire sur le tableau un schéma de l'installation contrôlée et à placer les instruments à l'endroit où ils captent effectivement l'information. Ce procédé a été souvent utilisé dans l'industrie chimique et sidérurgique sous le nom de "représentation synoptique". Cette disposition présente les avantages de la signalisation imagée et convient particulièrement lorsque les opérateurs ont antérieurement travaillé sur le terrain et sont familiarisés avec les modes de contrôle traditionnels.

Cette organisation présente toutefois certains inconvénients. C'est ainsi que les appareils à consulter pour contrôler un processus à un moment déterminé peuvent se trouver à des endroits très espacés sur le tableau. Le contrôle du processus serait alors plus commode si les appareils étaient rapprochés pour former une sorte d'unité de contrôle élémentaire sur laquelle le déroulement des opérations puisse être aisément suivi. Il ne semble pas que cette exigence soit tout à fait incompatible avec la "représentation synoptique". Il suffirait que les appareils de mesure soient reliés de manière apparente aux parties du schéma auxquelles ils se rapportent (ou soient doublés). Cet objectif sera d'autant plus facile à réaliser que seront éliminés du tableau les dispositifs d'enregistrement n'ayant pas d'intérêt pour le contrôle immédiat des phénomènes (de MONTMOLLIN, 1961, p. 63)(52).

6) Le "pré-traitement" de l'information :

L'opérateur, au cours de son travail, doit à la fois sélectionner l'information utile et la traiter. On peut concevoir grâce aux progrès technologiques des dispositifs pouvant l'aider dans ces deux tâches. On pourra ainsi donner à l'opérateur un dispositif qui lui présente à un moment donné uniquement les informations dont il a besoin pour exécuter une fonction déterminée.

Cette élimination du bruit peut s'avérer fort utile. On trouverait l'amorce de solutions de ce genre dans certains dispositifs qui mettent en évidence les indicateurs dont les informations s'écartent de la normale (cf. KURKE, 1957 (41), une couleur très visible apparaît sur le cadran critique).

Lorsque plusieurs informations élémentaires doivent être combinées, on pourra assister l'opérateur en lui fournissant le résultat de la combinaison, ou au moins des résultats partiels. C'est le rôle des synthétiseurs. La conception de ceux-ci devra être fondée sur une analyse approfondie du travail, afin que les synthèses fournies s'intègrent bien au processus de travail des opérateurs. On pourrait citer ici les dispositifs de présentation anticipés de l'information ("quickening").

7) Compatibilité du codage et de la représentation :

On a vu que toutes les représentations d'un même objet n'étaient pas équivalentes. On peut donc faire l'hypothèse que l'objet est défini par un certain nombre de traits ou indices - qu'on peut appeler pour cette raison, pertinents. Lorsque ces traits sont présents sur la représentation, alors l'objet est vite reconnu. Si ces traits sont masqués par des traits parasites surajoutés ou si certains de ces traits sont absents, alors l'objet est plus difficilement reconnu. Cette hypothèse a été vérifiée pour des objets simples, chez les enfants. VURPILLOT et BRAULT (1959) (75) ont montré justement l'existence d'un aspect de l'objet choisi préférentiellement aux autres pour le représenter. On pourrait parler ici avec PIAGET (1948) de "schémas empiriques représentatifs" pour désigner l'ensemble des indices représentatifs de l'objet.

L'hypothèse que ces schémas empiriques dépendent en grande partie des rapports de l'opérateur avec l'objet, en particulier de la façon dont il utilise cet objet, doit être considérée. On pourrait supposer que n'est retenue de l'objet que l'information

utile et que celle-ci pourra varier avec le rôle joué par cet objet. Ce qui vaut pour des objets simples vaudra aussi pour des installations ou des processus complexes. Ainsi, dans le contrôle à distance, la représentation du processus chez l'opérateur n'est pas un simple décalque de ce qui se produit dans l'installation ou de ce qui apparaît sur le tableau. L'opérateur sélectionne ses indices, mais aussi organise sa représentation en fonction des interventions qu'il a à exécuter. Ainsi n'est-il pas étonnant que l'ingénieur, qui n'a pas avec l'installation les mêmes rapports que l'ouvrier, en ait une représentation différente. Cette "image d'un objet, formée dans l'exécution du processus de certaines tâches de contrôle et qui correspond à ces tâches" a été désignée par OCHANINE (1966) (59) sous le nom d'image opérative. Elle peut servir de support à une action mentale et constitue ainsi "un système psychologique fonctionnel (modèle) transmettant l'information des états successifs d'un objet en effets adaptés sur cet objet" (p.50). Sur le plan de l'aménagement, ces remarques ont une importance capitale. Elles indiquent que les informations transmises à l'homme doivent l'être sous une forme compatible avec cette image opérative. Les caractères de celle-ci ne sont pas toujours très faciles à découvrir puisqu'ils ne peuvent être inférés qu'à partir des comportements des opérateurs.

OCHANINE (1966)(59) a montré qu'en remplaçant les diagrammes classiques par des diagrammes conformes à l'image opérative, l'exécution des opérations prenait trois fois et demi moins de temps et donnait lieu à dix-huit fois moins d'erreurs.

Le choix du système de référence, qui a été soulevé dans des études anciennes d'ergonomie, pourrait être facilement interprété en terme d'image opérative. Il s'agissait de savoir si un phénomène doit être représenté tel que l'opérateur le perçoit, ou tel qu'un observateur extérieur le percevrait (problème de la représentation de l'avion et de l'horizon sur un indicateur).

La connaissance de l'image opérative jouera aussi un rôle important dans l'aménagement des aides au travail, en particulier dans l'aménagement des schémas (FASSINA, 1966) (17).

2) L'aménagement du dispositif de commande :

L'analyse du fonctionnement du système et la répartition des fonctions entre l'homme et l'installation permettent de recenser les actions dévolues à l'opérateur. Sur ces données, l'aménagement des commandes en vue de l'exécution peut commencer. Cet aménagement suppose la prise en considération d'un ensemble de facteurs qui sera examiné ici, toujours sur un plan général. Pour un système déterminé, le processus d'analyse et de choix d'une solution pourra être très différent de l'ordre suivi dans cette revue.

Certains aspects, ayant déjà fait l'objet de nombreuses études, seront simplement cités pour mémoire, de plus amples détails pouvant être trouvés dans tous les manuels d'ergonomie, notamment dans ceux mentionnés dans la bibliographie, à la fin de la revue. On développera davantage des aspects plus récemment abordés et dont l'importance pour l'aménagement du contrôle à distance est incontestable.

Aménager un dispositif de commande consiste, en somme, à essayer de satisfaire les exigences des différents rapports, distingués dans l'introduction, entre ce dispositif et d'autres parties du système. Ces rapports seront examinés successivement :

a) Rapports instruments-opérateur : les études porteront sur les points suivants :

- 1 - Adaptation aux données anthropométriques (accessibilité; éventuellement prévoir la possibilité d'une activité dans les positions assis et debout; utilisation des quatre membres).

- 2 - Disposition des commandes en fonction de leur utilité dans la tâche et de leur fréquence d'utilisation. Tenir compte également des aspects séquentiels de l'utilisation (cf. BARRIERE, 1965)(2).
- 3 - Optimisation des efforts à produire pour effectuer les mouvements : les commandes doivent offrir une certaine résistance à la manoeuvre sans être source de fatigue; les mouvements seront en outre facilités par le choix d'une forme ou d'un relief appropriés de l'instrument (boutons, leviers, manivelles, créneaux, moletages..).
- 4 - Codage des commandes pour une bonne discrimination : il implique l'utilisation d'indices visuels et tactiles. Les principaux procédés de codage sont : le codage par la forme, par le format, par la couleur, au moyen de symboles ajoutés et aussi, lorsque d'autres facteurs ne s'y opposent pas, par le mode opératoire (indices kinesthésiques). Il est cependant souvent préférable que l'identification d'une commande n'exige pas que celle-ci soit manoeuvrée. Les possibilités offertes par la couleur pour coder les éléments de contrôle ont fait l'objet d'études dont un bilan a été établi par JONES(1962)(35). Il est généralement recommandé de recourir à plusieurs méthodes de codage pour un même dispositif (par exemple de combiner, pour un ensemble de commandes, le codage par la forme, le codage par la couleur et le codage par le format). L'efficacité d'un tel codage est meilleure si l'on peut employer des codes standardisés. Ce problème sera repris dans la partie qui suit.

b) Rapports entre commandes et effets produits :

- 1 - Correspondance entre la disposition des commandes et celle des appareils commandés : elle est utile lorsque

l'opérateur voit ou se représente la position respective de certains appareils dans le champ de travail. La localisation de la commande appropriée est facilitée. BARRIERE (1965)(2), au cours de l'aménagement d'une timonerie de pousseur rhénan, a adopté ce principe pour la commande des différents phares du bateau : les boutons-poussoirs utilisés sont disposés sur le pupitre de commande pour former une configuration reproduisant celle des phares à l'avant et à l'arrière du pousseur.

- 2 - Choix du type d'instrument en fonction de la nature de l'action à produire; dans les manuels, la plupart des instruments utilisables sont recensés et classés par type (manivelles, volants, leviers, boutons...) (voir en particulier MURRELL, 1965, p.238 s.q.q. (55)). Un des facteurs à considérer pour choisir le type pouvant convenir dans un cas déterminé est la nature de l'action déclenchée par la manoeuvre de l'instrument. Pour reprendre l'exemple ci-dessus, l'utilisation de boutons-poussoirs à contact maintenu convient aux actions d'allumage et d'extinction des phares.
- 3 - Combinaison de commandes, relatives à une même fonction, en un instrument unique (exemple : monter deux boutons tournant sur des axes concentriques) : elle offre des avantages lorsqu'il existe des exigences d'opérations simultanées ou immédiatement successives. Il faut cependant veiller à ce qu'elle empêche les manipulations accidentelles (ELY et al. 1963(16)).
- 4 - Compatibilité entre le déplacement de la commande et l'effet perçu ou imaginé de l'action. Les études sur cette question sont très nombreuses et comprennent une partie de celles consacrées aux stéréotypes (liaison spontanée entre une réponse et le signal de feedback attendu). Pour

un premier examen détaillé on pourra consulter la revue de LEPLAT (1965)(44). Voici quelques exemples souvent cités de ce genre de compatibilité.

<u>Effet escompté</u>	<u>Mouvement de commande compatible</u>
- déplacement d'un véhicule en avant - augmenter le débit d'un liquide	} manoeuvre d'un levier vers l'avant
- pivotement d'un engin vers la droite - augmenter l'intensité d'éclairage	
- rotation d'un plateau dans le sens des aiguilles d'une montre - augmenter la puissance de chauffage	} manoeuvre d'un levier vers la droite
	} rotation d'un bouton dans le sens des aiguilles d'une montre

Lorsqu'il n'existe pas d'indication immédiatement perceptible du résultat attendu, une règle générale est donnée dans les manuels, qui paraît intéressante à noter: la compatibilité doit être cherchée entre le mouvement de commande et le but essentiel de l'opération plutôt qu'entre le mouvement et le mécanisme particulier déclenché. Par exemple, si l'opération consiste à augmenter le débit d'un liquide, c'est à ce but que sera relié un mouvement compatible (levier poussé vers l'avant) et non à celle de la technique en jeu pour atteindre ce but (ouverture d'une vanne ou accélération d'une pompe). Cette règle prend une signification particulière lorsqu'il s'agit de commandes d'arrêt d'une partie de l'installation en situation d'urgence. Il est certain qu'une cohérence entre les instruments ayant ce rôle dans un même poste est souhaitable. Le "réalisme des commandes" constitue un aspect particulier de la compatibilité. Il

désigne la correspondance existant, entre la force appliquée à la commande et l'effet produit par celle-ci. Ainsi par exemple la pression à exercer sur un levier ou une pédale doit être déterminée compte tenu de l'importance de la force développée par le mécanisme déclenché : s'il s'agit d'une force destinée à déplacer une lourde charge, l'effort à fournir devra être suffisamment sensible.

- 5 - Adaptation du mouvement de commande à une opération d'ajustement : les mouvements peuvent être continus ou discontinus selon la nature de l'opération; le réglage du système de démultiplication permettra d'obtenir l'efficacité la meilleure compte tenu de la précision désirée (voir sur ce sujet FAVERGE, LEPLAT, GUIGUET, 1958).

- 6 - Codage des commandes en fonction de l'effet produit : le choix des indices utilisés pour le codage des commandes en vue de leur différenciation (forme, dimension, couleur) peut être guidé par la recherche d'un aspect commun à ces indices et à l'opération commandée (codage motivé). L'identification des instruments en sera facilitée. On peut essayer de donner aux commandes des formes qui rappellent l'opération correspondante ou de dessiner, de façon stylisée, les opérations sur les instruments. La dimension des commandes pourra être en rapport avec l'amplitude relative de l'effet : petite pour une opération fine, grande pour un travail lourd. En ce qui concerne la couleur on utilisera le code qui s'est peu à peu constitué dans le domaine de la signalisation et qui tend à être admis pour l'aménagement de la plupart des dispositifs industriels. Par exemple, le rouge désigne généralement le feu, le danger, l'arrêt, l'urgence, le passage d'un courant électrique..., tandis que le vert est la couleur de la sécurité, de l'équipement de secours, de la mise en marche, de la voie libre, du fonctionnement

normal d'une machine ... Les champs sémantiques des couleurs, qui n'ont jamais été fixés pour une large utilisation, mériteraient, d'un point de vue ergonomique, une étude susceptible de conduire à une normalisation du codage.

c) Rapports entre commandes et signaux déclencheurs :

- 1 - Disposition relative des systèmes de signalisation et de commande dans l'espace ; la compatibilité peut s'entendre aussi pour les ensembles de signaux et de commande comme il s'en trouve sur les pupitres ou tableaux d'installation de contrôle à distance. On trouvera dans la revue de LEPLAT (1965)(45) des informations détaillées sur ce sujet. La meilleure disposition est évidemment celle où chaque instrument de commande peut être placé immédiatement en dessous du signal correspondant. Vient ensuite celle où les dispositifs de signalisation et de commande sont distincts mais homothétiques. Dans le second cas l'association signal-commande est moins directe que dans le premier, mais la disposition permet d'éviter que l'opérateur, en agissant sur un instrument, ne masque un signal (cf. WELFORD, 1960(76)). Une expérience de CHAPANIS et LOCKHEAD (1965)(9) visant à estimer l'efficacité de lignes tracées entre signaux et commandes pour en faire paraître concrètement la correspondance a conduit à la conclusion suivante : il est plus important de relier signaux et commandes par une disposition relative compatible (comme dans les deux cas indiqués) que d'utiliser des lignes montrant schématiquement les relations signaux-commandes. Les lignes n'influencent positivement la performance que lorsque ces relations sont non-compatibles et dans ce cas elles ne peuvent compenser totalement la mauvaise disposition. Le principe de compatibilité doit donc être regardé comme particulièrement fort pour la disposition des panneaux de contrôle.

2 - Codage du signal en fonction de caractéristiques du mouvement de commande : la rapidité et la précision de la réponse de l'opérateur à un signal dépend pour une part non négligeable de la relation entre cette réponse et le mode de codage du signal. La revue de LEPLAT (citée plus haut) est à consulter également pour cet aspect. Une étude récente de DUEKER et MERZ(1965)(14), partie d'une recherche sur la sécurité dans la sidérurgie allemande, est, en outre, à signaler. Les auteurs ont vérifié expérimentalement l'hypothèse qu'une perturbation du processus de décodage a d'autant plus d'influence que ce processus est complexe, c'est-à-dire que les systèmes de codage des signaux sont moins compatibles avec les systèmes de réponses. Ainsi, l'effet d'une interruption de l'opérateur, au moment où une information est transmise au système nerveux central, est plus marqué lorsque le signal est arbitraire (non motivé) que lorsque celui-ci est imagé (figurant la forme de la réponse).

d) Rapports entre mouvements de commande :

1 - Cohérence dans le sens des mouvements : il arrive que sur un même pupitre voisinent des commandes dont la manoeuvre, pour un effet de sens identique (par exemple une augmentation) exige des mouvements inverses si l'on respecte le montage traditionnel. Ce peut être le cas à un poste contrôlant à la fois une installation électrique et une installation concernant des liquides ou des gaz : en électricité on augmente une puissance en tournant un bouton dans le sens des aiguilles d'une montre tandis que pour augmenter un débit ou une pression on tourne dans le sens contraire (ouverture de vannes). Les études expérimentales faites sur ce sujet (cf. MURRELL) conduisent à préconiser l'abandon de certaines habitudes d'installation au

profit de la cohérence des relations entre mouvements de commande et orientation des effets. Autrement dit, pour un type d'effet déterminé (comme une augmentation) il serait préférable que toutes les commandes concernées se manœuvrent de la même façon. Cette indication rejoint ce qui a été relevé précédemment à propos de la compatibilité à rechercher, pour une commande donnée, entre le mouvement sur l'instrument et le but essentiel de l'opération.

- 2 - Compatibilité entre réponses : FITTS, cité par PETERSON (1965)(60), pense qu'il est possible d'étendre le concept de compatibilité, généralement associé aux relations stimulus-réponse, aux relations entre réponses motrices concurrentes. Les deux types de compatibilité se distingueraient, selon PETERSON, par leurs effets : ceux de la compatibilité S.R. joueraient sur la rapidité et la précision de la décision du sujet répondant à un stimulus présenté, tandis que ceux de la compatibilité R.R. joueraient sur la rapidité et la précision de l'exécution par le sujet de deux réponses (ou davantage), après décision. A partir de ces considérations l'auteur a réalisé une expérience avec une tâche de pointage où le sujet devait répondre simultanément avec les deux mains. Les résultats indiquent que le niveau de la performance d'une main (exécutant une réponse) dépend de la nature de la réponse faite avec l'autre main. L'auteur en conclut que les effets de la compatibilité R.R. existent pour la tâche étudiée. Cette constatation incite à envisager d'autres recherches sur la question, dont les résultats pourraient avoir une influence sur la conception des commandes intervenant dans des manœuvres simultanées.

e) La normalisation des dispositifs de signaux et de commandes :

Elle est souhaitable en ce qui concerne les caractéristiques des éléments, non seulement d'un même poste de contrôle mais du plus grand nombre possible de postes. Elle permettrait ainsi d'éviter les difficultés, les erreurs, les pertes de temps, voire les accidents dans le cas de mutation d'un opérateur d'un poste à un autre. Les récentes recherches sur la sécurité dans la sidérurgie et dans les mines (Recherche communautaire) ont amené à souligner l'intérêt ergonomique d'un tel effort de normalisation intra et inter-entreprises.

3) Les problèmes de mémoire :

Dans le fonctionnement d'un système, en particulier dans le fonctionnement d'une installation de contrôle à distance, la mémoire intervient de deux manières. D'abord l'opérateur qui consulte son tableau de signalisation et qui reçoit des communications de l'extérieur doit pouvoir garder un certain temps en mémoire l'information recueillie, le temps d'en faire la synthèse et de fournir les réponses appropriées. Ensuite l'exécution du travail exige que soient connues les règles de fonctionnement de l'installation. L'opérateur doit donc avoir à sa disposition ces règles qui sont finalement destinées à fixer quelles transformations doivent subir les informations recueillies pour donner lieu aux actions adaptées. Ces règles (connaissances, instructions, consignes) pourront être apprises par l'opérateur au cours de l'apprentissage ou être mises à sa disposition, quand il le souhaite, sous forme de documents (notices, schémas, etc.) qui constitueront une sorte de mémoire annexe. La répartition des informations permanentes entre la mémoire humaine et les documents ou aides au travail constituera un aspect important de l'aménagement : quelques-uns des problèmes posés par ces différents modes d'intervention de la mémoire seront évoqués maintenant.

a) Les deux types de mémoire :

L'analyse du travail a fait ressortir l'intérêt de la distinction de la mémoire à court terme et de la mémoire à long terme. Cette distinction repose sur deux facteurs essentiels. Le plus important a trait au délai de conservation de l'information. Le second porte sur la capacité, limitée dans la mémoire à court terme, extrêmement élevée dans la mémoire à long terme. Dans la mémoire à court terme les informations pourront donc être facilement remplacées, d'où une certaine souplesse d'utilisation. Dans la mémoire à long terme les informations antérieures ne peuvent être facilement éliminées et peuvent perturber, par des mécanismes d'interférence, l'acquisition d'informations nouvelles.

MILLER(1962)(51) souligne l'importance, au stade de l'analyse du travail, de déterminer les informations qui doivent être acquises de façon permanente et celles qui ne jouent un rôle qu'un temps très limité.

b) Rôle de la mémoire à court terme et aménagements possibles :

La mémoire à court terme ou mémoire immédiate se réfère à "la capacité de répéter, aussitôt après les avoir entendus, des séries de chiffres, syllabes ou mots ou de reproduire des signes, dessins, etc." (PIERON, 1951(63)). Les exemples d'activité où il est fait appel à la mémoire à court terme sont très fréquents dans la vie courante. Celui du garçon de café répondant aux demandes des consommateurs, est l'un des plus typiques. Citons aussi l'appel au téléphone : le demandeur lit le numéro sur son carnet ou sur le bottin, mais l'oublie, dès qu'il a formé sur le cadran ce numéro. De même à un poste d'aiguillage, l'opérateur se rappelle le message envoyé par un contremaître, mais juste le temps d'exécuter les modifications des signaux correspondant au message. Dans le contrôle à

distance, la mémoire à court terme interviendra notamment lorsqu'il s'agit de caractériser l'état du système ou du processus à partir d'indications prélevées sur plusieurs appareils. La synthèse de ces indications exige que chacune soit disponible un certain temps. On pourra parfois abaisser la "charge mnémonique" de la mémoire immédiate en utilisant des "synthétiseurs" qui présentent plusieurs informations sur un même dispositif et même les combinent pour éviter à l'opérateur des élaborations élémentaires constituant autant de charges interférentes.

La mémoire immédiate a donc ainsi une utilité très directe dans le travail. Des auteurs soviétiques, en particulier ZINTCHENKO (1966)(80) ont bien souligné cette fonction qui "consiste à servir l'action en cours" et ils ont proposé de parler de mémoire opérationnelle ou ouvrière. Cette mémoire opérationnelle, "strictement subordonnée aux buts d'une activité donnée, liée au contenu même de cette activité", se distinguerait de la mémoire immédiate en ce qu'elle peut porter sur une étendue temporelle plus grande et que son volume peut être plus important. Dans ce qui suit on continuera de parler de mémoire à court terme ce qui semble moins limitatif que mémoire immédiate, mais en considérant comme tout à fait valables les remarques et les analyses de ZINTCHENKO, qui pourraient d'ailleurs être étendues à la mémoire à long terme.

La mémoire à court terme peut être aussi exploitée lorsqu'il s'agit de repérer des tendances se manifestant dans le temps. Le fait que les indications d'un cadran diminuent régulièrement, peut constituer un signal très utile. L'opérateur doit alors mémoriser plusieurs indications prises à des moments différents pour apprécier cette tendance. Sa tâche peut être considérablement facilitée lorsque la machine prend en charge cette fonction et qu'un enregistrement graphique permet de représenter avec précision l'évolution du phénomène (CROSSMAN, 1960)(12).

L'organisation du contenu de la mémoire à court terme est un facteur capital de sa capacité. De multiples études expérimentales en témoigneraient dont quelques-unes seulement seront rappelées.

MILLER (1956)(50) a abordé ce problème dans le cadre de la théorie de l'information. Il se demandait si la capacité de la mémoire ne dépendait pas de la quantité d'information contenue dans les messages à mémoriser. L'hypothèse à éprouver était alors que la mémoire à court terme serait d'autant plus grande que la quantité d'information apportée par les messages serait plus faible. Les résultats expérimentaux rapportés par MILLER, notamment ceux de HAYES (1952) et de POLLACK (1953) viennent infirmer cette hypothèse. Ce qui reste constant d'une condition à l'autre, c'est non pas la quantité d'information, mais le nombre d'items retenus (fig. 15). Celui-ci se situe entre 6 et 9 environ, souvent à 7 : MILLER parlera à ce propos du "nombre magique 7". Ces résultats font apparaître toute l'importance de l'organisation du matériel à mémoriser qui doit aboutir à constituer des items ayant une certaine unité et porteurs d'une grande information - puisque c'est le nombre d'items qui est le facteur critique. Les analyses de ZINTCHENKO (1966)(80) aboutissent à des conclusions analogues. Il note "qu'un des modes les plus productifs du processus mnémonique réside dans la systématisation du souvenir en unités de mémoire, si l'on peut dire, répondant le mieux aux exigences de la tâche à remplir" (p.15) et il rapporte plusieurs expériences qui montrent que l'efficacité de la "mémoire opérationnelle" est liée à la nature de ces unités et aux procédés mis en oeuvre pour les former. Le problème est donc finalement de coder l'information à mémoriser par blocs ou unités significatives larges et MILLER note fort justement (p. 95) que "le recodage est une arme extrêmement puissante pour accroître la quantité d'information qui peut être traitée". Le nombre de lettres qu'on peut retenir en constituant des mots, et encore mieux

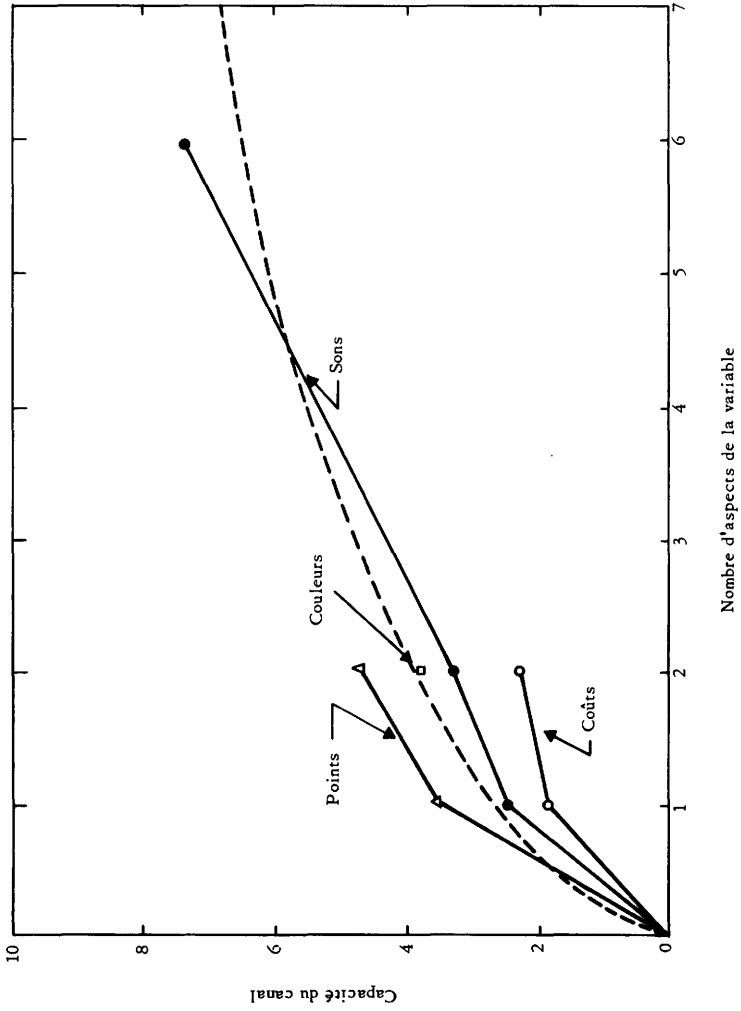


Figure 15: Forme générale de la relation entre la capacité du canal et le nombre d'attributs des stimuli variables indépendamment (d'après MILLER, 1956).

des phrases, est bien supérieur à celui qu'on peut retenir avec des séquences de lettres sans signification. MILLER montre tout le bénéfice que présente pour la mémoire le recodage décimal de séquences de chiffres binaires. On peut penser que certaines connaissances technologiques, qui permettraient de synthétiser sous un même concept des informations issues de sources différentes, pourraient aider à accroître le volume de la mémoire à court terme. Des arrangements adéquats des dispositifs de présentation pourraient jouer un rôle analogue en favorisant la structuration du matériel perceptif. Ainsi HOWELL et TATE (1966) (34) montrent que l'introduction d'un système de référence spatiale permet d'améliorer l'efficacité de la mémorisation, (signaux du type "G 1" présentés à la suite ou sur une matrice où ils sont repérés par l'indication de leur ligne (ici 1) et de leur colonne (ici G)). Ces mêmes auteurs montrent que l'effet du dispositif de signalisation est plus grand que celui du dispositif de réponse.

Des expériences récentes sont consacrées à ces problèmes d'organisation. THORPE et ROWLAND (1965)(74) ont étudié quelle stratégie utilisaient les sujets pour mémoriser des séquences de chiffres présentés visuellement. Ils ont mis en évidence l'existence de groupements dont ils ont caractérisé les types. Par exemple, une séquence de 8 chiffres est structurée selon le modèle 3 - 3 - 2. La structuration la plus fréquente, dite groupement naturel, est aussi celle qui correspond aux résultats les meilleurs. SHEPARD et SHEENAN (1961)(71) montrent que lorsque le matériel à mémoriser est hétérogène, il est souhaitable de placer au début le matériel difficile, "l'opérateur humain étant le plus exact et le plus efficace quand il peut se décharger d'abord de l'information la moins familière et la moins redondante".

La stratégie du codage a fait aussi l'objet d'études de HABER(1964)(31) et de YNTEMA(1963)(79), ce dernier s'intéresse à la

mémorisation à court terme des états de plusieurs variables, situation souvent présente lors de la prise de décision. L'auteur note que la capacité à retenir des indications indépendantes est faible. On peut augmenter très sensiblement la performance à une épreuve de mémoire en introduisant une corrélation entre les états actualisés de différentes variables. Dans ses expériences l'auteur a choisi des variables se rapportant à deux objets dépourvus de signification. L'une de ces variables est, par exemple, la forme; ses états possibles sont les suivants : cercle, carré, triangle, coeur. La performance est en outre meilleure si à un état donné ne correspond qu'une variable et si la fréquence des changements d'état d'une variable est minimale. Enfin la formule "peu de variables avec états possibles nombreux" est plus efficace que la formule "beaucoup de variables avec peu d'états".

Au cours de l'étude de claviers numériques, CONRAD (1966) (11) a montré l'importance de la compatibilité de la disposition des chiffres sur le clavier sur la mémoire à court terme. Ainsi le mode de report des informations perçues n'est pas indifférent au processus mnémonique. L'auteur pense que les dispositifs peu compatibles, en augmentant le temps de localisation de la touche, donc le temps de mémorisation, accroîtraient les possibilités de dégradation du message. Ces résultats soulignent encore l'intérêt du respect de la compatibilité et des stéréotypes dans le couplage des dispositifs de signalisation et de commande.

c) Mémoire à long terme et "aides au travail" :

Les rapports homme-machine sont aussi réglés par un ensemble de connaissances dont l'opérateur doit pouvoir disposer de manière permanente. Ces connaissances sont d'ordre très divers. Certaines regardent les conditions de fonctionnement de la machine, les autres concernent la manière dont l'opérateur doit

traiter l'information qu'il reçoit de la machine : elles vont des instructions très précises du genre "listes de contrôle" aux connaissances théoriques qui définissent le niveau de qualification. Comme on l'a signalé plus haut, le problème est ici de déterminer à quelle mémoire seront confiées ces informations: mémoire humaine à long terme ou documents de travail ("Job aids").

Le problème même du partage des fonctions, s'il a été évoqué par plusieurs auteurs, n'a pas donné lieu à des études systématiques. Il mériterait cependant d'être abordé sérieusement. Il s'agit de définir la répartition optima des informations permanentes entre l'homme et les aides au travail. Si on accroît le rôle de la mémoire humaine, la formation sera longue, les risques d'erreurs seront plus élevés, mais la vitesse d'exécution sera plus grande. En revanche, si un appel important est fait aux aides au travail, la formation sera raccourcie, mais l'exécution alourdie et surtout la préparation sera beaucoup plus longue étant donné la difficulté d'élaboration des aides.

Parmi les variables qui peuvent intervenir dans la recherche de cet optimum FOLLEY cite :

- 1 - le niveau du personnel qui va faire le travail et le temps d'apprentissage disponible,
- 2 - l'importance des erreurs dans le système : la mémoire humaine doit être assistée si les conséquences des erreurs sont graves,
- 3 - la quantité d'information nécessaire au contrôle du matériel,
- 4 - la possibilité de se référer au document : si la séquence d'opération à effectuer est très rapide le document ne peut être consulté,

5 - la fréquence d'emploi des instructions de travail : les documents s'imposeront davantage pour les instructions qui ont à intervenir rarement.

Les problèmes posés par la mise en jeu de la mémoire à long terme ne seront pas abordés ici, puisqu'ils relèvent surtout de l'apprentissage. On trouvera sur ce sujet une littérature abondante et des ouvrages bien documentés (par exemple FRAISSE et PIAGET, tome IV, 1964). On notera aussi l'intérêt que peut présenter l'enseignement programmé pour tous ces problèmes de formation (cf. revue de J. LEPLAT, 1963 (43), GLASER, 1965 (29)). Une distinction très utile, proposée par MILLER (1962)(51) et qu'on peut rattacher aux analyses de GAGNE (1962) (26) a trait aux deux modes de communication des informations nécessaires au bon fonctionnement du système homme-machine.

Dans un premier cas, il n'est demandé à l'opérateur qu'un travail d'identification. Il dispose d'une liste exhaustive d'instructions précises, sur laquelle sont prévus tous les états possibles du système et pour chacun d'eux les actions qui doivent y répondre. On peut dresser ainsi des organigrammes d'intervention, souvent fort utiles, dont des exemples ont été donnés dans la première partie, et qui peuvent fournir d'excellentes aides à la formation. L'opérateur ne doit savoir alors qu'identifier les états du système, c'est-à-dire pratiquement lire les indications du tableau de contrôle.

Dans un second cas, il est demandé à l'opérateur un travail d'interprétation. Les instructions, par exemple, auront trait à des catégories qui seront déjà le fruit d'une élaboration. On dira "si le circuit à air comprimé présente l'anomalie X, procéder à telle opération", mais sans expliciter les signes de l'anomalie. Les instructions pourront même ne porter que sur le mode de fonctionnement général de la machine, sans prévoir le détail des interventions. L'opérateur devra alors interpréter

les indications du dispositif de signalisation à partir de sa connaissance du fonctionnement du système - qui joue ici le rôle de médiateur. Une charge plus grande est confiée à l'opérateur qui doit être d'un niveau de qualification plus élevé. Le rôle de la mémoire à long terme est dans ce cas très important.

Ces analyses du mode d'intervention de l'opérateur dans le système seront indispensables pour définir la place des aides et leur aménagement. WULFF et BERRY (1962) ont bien déterminé le statut de l'aide au travail. La conception de celle-ci exige qu'aient été bien identifiés les stimuli qui guident le travail et que les réponses à ces stimuli aient été déterminées avec précision. A cet égard, la conception des aides est plus difficile que celle de la formation où on peut se reposer sur le rôle du renforcement pour l'apprentissage des actions souhaitées : celui qui conçoit l'aide au travail "doit trouver les stimuli qui permettront de déclencher la réponse au premier essai (WULFF et BERRY). L'aide au travail exige aussi qu'ait été définie une procédure de travail, une stratégie d'intervention.

Les aides au travail seront en général des documents avec un texte écrit accompagné de dessins, schémas ou organigrammes. Les connaissances acquises en ergonomie sur ces modes de présentation pourront être utilement exploitées ici, mais ne pourront jamais se substituer à une analyse du travail auquel le document est destiné. FOLLEY (1962) a défini les grandes étapes du développement de tels documents. En ce qui concerne l'utilisation des textes, on pourra à la fois exploiter les connaissances sur la lisibilité des caractères (par exemple : Mc CORMICK, 1957 (48) p. 106 - s.q.) et sur la compréhension (FLESH, 1948 (21), CHAPANIS, 1965 (10)). On pourra aussi utiliser les organigrammes (cf chapitre précédent). Le problème des schémas a été abordé sous un angle différent par FASSINA (1966)(17) mais son document donnera des indications utiles.

4) Contrôle de l'efficacité du couplage :

Pour parfaire l'intégration de l'opérateur humain dans le système quelques principes supplémentaires sont donnés par des spécialistes au sujet du contrôle du couplage homme-machine. De tels principes semblent devoir mériter une attention croissante avec le développement de l'automatisation des processus. Les illustrations présentées ici sont empruntées à des textes de CHAPANIS (1960)(8) et de MORGAN et LUND (1963)(54).

a) Vérification par duplication :

L'objectif est d'amener le nombre des erreurs, commises par un opérateur, à une proportion négligeable. L'intérêt est particulièrement sensible pour les systèmes de comptabilité électronique exigeant une exactitude rigoureuse. Voici un exemple de solution satisfaisante : "Deux opérateurs enregistrent les mêmes valeurs, indépendamment l'un de l'autre, dans le même système. Un dispositif spécial permet de comparer les deux ensembles de données enregistrées et de n'accepter que ceux qui sont parfaitement identiques. Les discordances sont rejetées pour correction".

b) L'homme surveillant la machine :

Même dans le cas de machines complètement automatiques, l'homme est souvent appelé à intervenir lorsque des incidents se produisent ou lorsque la situation réclame une appréciation pour laquelle la machine n'a pas été programmée. L'exemple le plus typique actuellement est celui du rôle d'un cosmonaute au cours d'un vol spatial dans une cabine de fusée.

c) La machine "surveillant" l'homme :

Lorsque les exigences de sécurité dans le fonctionnement d'un système sont élevées, il y a avantage à concevoir un dispositif interdisant à l'opérateur de faire des manoeuvres

inadaptées, aux conséquences fâcheuses. Ainsi, dans un poste central de distribution des programmes de télévision, la tâche de l'opérateur est de relier les lignes d'entrée aux lignes de sortie appropriées. Le mécanisme de commande est construit de telle façon que si l'opérateur tentait, par erreur, de faire correspondre deux lignes d'entrée à une seule ligne de sortie, aucune présélection ne se produirait et un avertisseur serait déclenché.

La machine peut jouer aussi un rôle positif en assistant l'opérateur. Dans un dispositif de coordination prévu pour le contrôle de la navigation aérienne (SPERANDIO, 1966(73)), la machine signale à l'opérateur quand il doit avertir le secteur voisin du passage d'un appareil. Ce rappel décharge la mémoire de l'opérateur et constitue en même temps une garantie que l'opération sera effectuée.

d) Localisation rapide des pannes ou incidents :

Elle est très souhaitable pour des raisons d'économie : les arrêts d'une installation par suite de pannes sont en général très coûteux dans le cas de systèmes complexes. Pour qu'ils soient le plus bref possible, il importe que la connaissance et le diagnostic précis de l'incident intervienne très tôt. Aux Etats-Unis, un système comprenant 107 tours servant à recevoir et à transmettre des faisceaux d'ondes extra-courtes est conçu de manière que tout dérangement survenant dans l'une de ces tours soit immédiatement signalé à des techniciens du contrôle centralisé. Ceux-ci peuvent, par "consultation" à longue distance de la tour défaillante, découvrir la cause exacte du dérangement avant d'envoyer une équipe de dépannage.

V - CONCLUSION

L'aménagement d'un système de contrôle déjà installé posera souvent des problèmes pratiquement insolubles, dès qu'on ne sera plus au niveau de l'élément. Aussi est-ce surtout le stade de la conception qu'il faudra viser. L'analyse des systèmes en place garde toute sa valeur dans la mesure où un nouveau système n'est pas une création totalement originale, mais qu'il constitue le perfectionnement d'un système ancien dont il reprend certaines des parties. Il serait d'ailleurs important de pouvoir disposer d'une histoire des systèmes et de pouvoir constituer une taxonomie des sous-systèmes dans lesquels l'homme est impliqué. A défaut de cette connaissance et pour la préparer, on peut faire une analyse précise des systèmes existants qui mette en lumière à la fois leur structure et leur fonctionnement et dégage le rôle de l'opérateur humain en termes d'exigences. Ce rôle étant défini les connaissances acquises par la psychologie expérimentale, en laboratoire et sur le terrain, permettent d'apporter des éléments sur l'efficacité prévisible de l'opérateur. Dans ce document, on a fourni des indications sur la manière d'analyser les systèmes en place en même temps que des informations sur les caractéristiques de l'homme dans l'exercice des fonctions ainsi isolées. On a donc essayé, à la fois, de définir un instrument, grâce auquel les fonctions confiées à l'opérateur humain soient précisées, et des connaissances relatives à l'exécution de ces fonctions. Rien ne peut remplacer l'analyse sur le terrain - si ce n'est celle d'une situation de simulation - mais ce serait aussi une grande perte que de se priver des connaissances acquises lors d'études antérieures de systèmes réels ou de laboratoire.

Ce document, répétons-le, ne vise pas à l'exhaustivité : il a laissé de côté en particulier l'étude du système général dans lequel s'insère le poste de contrôle confié à un opérateur. Son but était plutôt de rappeler des connaissances et des méthodes qui puissent aider à mieux comprendre et par là à mieux définir les fonctions de l'opérateur humain dans les installations de contrôle à distance.

DEUXIEME PARTIE

RECHERCHES RELATIVES AU PROBLEME DE LA FATIGUE MENTALE

(par le Pr H. SCHMIDTKE)

RECHERCHES RELATIVES AU PROBLEME DE LA FATIGUE MENTALE^(*)

I - PROBLEMES DE DELIMITATION - DEFINITION

L'évolution structurelle de la vie professionnelle, laquelle n'a cessé, depuis le début de l'industrialisation jusqu'à nos jours, de se réaliser selon un processus plus ou moins continu, n'est pas restée sans influence sur la nature et l'intensité des efforts demandés à l'homme. La reconnaissance du fait qu'un rendement optimal de l'homme au travail n'est garanti à la longue que lorsque la fatigue due au travail est maintenue dans certaines limites, a conduit au cours des dernières années à une notable intensification des recherches en matière de fatigue, une certaine tendance au transfert du centre de gravité de l'étude de la charge purement musculaire vers la charge psychique pouvant être discernée. Cette activité scientifique croissante ne peut toutefois faire oublier que, même à notre époque, nous n'avons ni une conception uniforme, ni une représentation suffisamment comparable de ce que doit recouvrir la notion de fatigue.

Comme contenu commun des définitions de la fatigue formulée par des physiologistes et des psychologues, il est permis de dégager les caractéristiques suivantes : la fatigue se présente comme un phénomène consécutif à une sollicitation préalable; elle a pour effet une diminution réversible des performances et des fonctions; elle influe sur la combinaison organique des fonctions; elle s'accompagne d'une diminution de la satisfaction dans le travail et d'une augmentation de la sensation d'effort; elle peut enfin conduire à une perturbation de l'harmonie fonctionnelle de la personnalité.

Mais cette synthèse de tentatives de définition n'offre pas uniquement un aperçu de certains phénomènes consécutifs à des états de fatigue : elle montre également que la connaissance des bases biologiques de ce phénomène est encore fort imparfaite.

(*) Nous remercions M. le Dipl.Ing. F. NEUMAYER pour sa collaboration lors de l'assemblage du manuscrit.

Puisqu'il est fait état par la suite de fatigue psychique, il semble justifié d'indiquer tout d'abord qu'une distinction entre phénomènes de fatigue physique et psychiques relève beaucoup plus de la symptomatologie de ces phénomènes que des phénomènes eux-mêmes. Or, la connaissance des causes du phénomène de fatigue étant encore fort limitée, cette distinction peut être considérée comme légitime aussi longtemps qu'on ne dispose pas d'arguments meilleurs en faveur d'un autre principe de répartition.

Il ne faut pas conclure de ce principe de répartition qu'on se trouve, en l'espèce, devant deux processus différents quant à leur nature. Toute différenciation ne doit s'entendre qu'au sens opérationnel : la recherche physiologique s'est concentrée essentiellement sur la fatigue de la musculature et celle du système cardio-vasculaire tandis que le rôle de la recherche psychologique a été d'analyser certains symptômes de fatigue suscités, en tout cas en majeure partie, par des modifications fonctionnelles du système nerveux central.

On peut distinguer seulement les manifestations de fatigue survenant à la suite d'une charge préalable ainsi que les sensations de fatigue accompagnant ces phénomènes biologiques et observables par le sujet seul, le problème des fondements organiques de cette sensation de fatigue restant encore posé.

II - FORMES DE LA FATIGUE PSYCHIQUE

A. Formes successives de la fatigue psychique

C'est presque une caractéristique générale des recherches effectuées sur la fatigue que seules sont étudiées des modifications fonctionnelles isolées relatives à la nature et à la durée de l'effort déployé antérieurement. Cette situation est imputable tout d'abord à la conception théorique, la plupart du temps unilatérale du chercheur, mais aussi et surtout aux méthodes techniques de mesure qui ne peuvent

porter que sur un seul symptôme de fatigue à la fois. A cela s'ajoute comme autre limitation, que pour de nombreuses recherches, on doit se demander si c'était une véritable fatigue qui était à la base des modifications mesurées par l'indicateur ou si le symptôme de fatigue était moins une expression de la fatigue qu'une expression de distraction momentanée ou une adaptation à la méthode expérimentale.

Cela étant, on dispose jusqu'ici de peu de données sur les formes successives de la fatigue psychique. Si toutefois on fait la synthèse des conceptions de BORNEMANN (10), VON BRACKEN (12) et SCHMIDTKE (77,78), on peut émettre l'hypothèse suivante : lorsque la forme d'effort dépasse la capacité limite de régénération momentanée, on constate comme premiers symptômes de fatigue, des troubles bénins dans la zone fonctionnelle sollicitée par l'activité effectuée, état qu'on pourrait qualifier de "fatigue partielle".

Lorsque ces troubles atteignent un niveau tel qu'ils sont perçus par l'individu, un degré ultérieur de fatigue est atteint. A ce moment, la courbe de rendement n'a pas encore baissé mais les fluctuations s'accumulent. Celles-ci peuvent être considérées comme une tentative de l'individu de compenser une menace de baisse de rendement par une tension accrue de la volonté.

Des exploitations assez récentes de courbes de rendement, notamment celles de GRAF (31), montrent que cette fonction de compensation est également subordonnée à la fatigue : à la phase de la courbe de rendement présentant de nombreuses fluctuations succède une phase semblable à tendance descendante. Comme il est manifeste qu'ici les processus centraux d'intégration ne se déroulent plus convenablement - même des fonctions n'étant pas sollicitées à titre primaire sont perturbées -, on pourrait faire état d'une fatigue générale ou d'une aboulie.

Si l'activité n'est pas interrompue au cours de cette troisième

phase de fatigue, surviennent enfin les perturbations de l'harmonie fonctionnelle dont fait état VON BRACKEN (12), lesquelles dépassent les troubles du système fonctionnel; elles doivent être considérées comme des modifications qualitatives de la structure de la personnalité et présentent déjà de nombreuses similitudes avec certains syndromes psycho-pathologiques d'une part et certaines perturbations de la conscience par des narcotiques d'autre part.

Même si de nombreux éléments isolés font encore défaut pour parfaire ce tableau des formes successives de la fatigue psychique, un certain nombre de recherches effectuées en laboratoire et dans l'entreprise semblent toutefois confirmer l'hypothèse émise ci-dessus.

En liaison avec les troubles des fonctions individuelles motrices et de commande ou de régulation, ces explications relatives aux formes successives de la fatigue nous permettent de donner à présent quelques indications sur les "états voisins de la fatigue".

B. Etats voisins de la fatigue

De nombreuses recherches sur la monotonie et la vigilance, les études de LEWIN (52) et KARSTEN (46) sur la saturation psychique et les expériences de MIERKE (64) dans des situations de surmenage ont clairement montré que, dans ces trois complexes de phénomènes, des perturbations de la structure motrice mentale se produisent. Même si ces états disparaissent immédiatement lors de l'élimination des causes qui les ont produits, il ne semble pas justifié d'écarter toute relation avec le problème de la fatigue.

Les états de m o n o t o n i e surviennent particulièrement lorsque la constellation des stimuli externes s'appauvrit et qu'une dose moyenne d'attention doit être accordée à un processus qui se répète continuellement. Les sensations de fatigue qui se manifestent à cette occasion sont les indices d'un niveau d'activité psychique réduit. Le défaut de stimuli externes doit être compensé par une activation de l'activité motrice interne, ce qui conduit très rapidement à une "aboulie", d'autant plus que l'individu ne peut satisfaire la

la tendance qui s'est développée en lui de mener son activité à terme. Par l'intermédiaire de la fatigue motrice et de l'altération de la volonté l'état de monotonie présente un rapport direct avec la fatigue psychique. Le fait que les symptômes de fatigue disparaissent brusquement en cas de changement d'activité n'infirmes pas ce type de conception, de tels changements s'accompagnant d'une certaine dose d'excitation qui fournit le surcroît requis d'énergie psychique.

Tandis que dans les états de monotonie on assiste à une paralysie croissante des activités motrices et, comme phénomène consécutif, à une hypersollicitation et à une fatigue de la faculté volontaire, les liens entre l'état de saturation et celui de fatigue présentent un aspect presque diamétralement opposé. L'état de saturation psychique s'accompagne d'une activation des activités motrices; il est bien entendu décisif que celle-ci s'oppose au contenu actuel de l'activité. La poursuite de la même tâche en dépit de l'intensité croissante de ces impulsions "négatives" n'est possible que par une intensification des impulsions directrices arbitraires, de telle sorte qu'on se trouve ici aussi en présence d'un surmenage des énergies volontaires, lequel favorise la fatigue.

Lorsque l'homme est amené par des exigences externes à la limite de sa capacité potentielle de rendement, apparaissent comme symptômes de surmenage des tendances agressives qui sont suivies en règle générale par une phase de retrait et de résignation, considérée comme symptôme général du surmenage mental. Comme les états de monotonie, ce phénomène conduit à une baisse générale du niveau d'activité psychique et s'accompagne d'une sensation de vie appauvrie, de type dépressif. Pour compenser ces inhibitions motrices régressives, le niveau de la tension psychique doit être relevé par une action volontaire, ce qui détermine rapidement une "aboulie" et par conséquent une baisse de rendement due à la fatigue.

Les explications qui précèdent montrent, malgré leur brièveté, non seulement que les états de monotonie, de saturation et de

surcharge psychique présentent au plan phénoménologique de nombreuses similitudes avec l'image de la fatigue psychique, mais aussi que par l'action de ces états sur la structure motrice de la personnalité, une influence directe peut s'exercer sur le phénomène de fatigue. Il n'est donc pas étonnant que ces états semblables à la fatigue aient également trouvé leur place dans une théorie générale de la fatigue psychique.

III - THEORIES DE LA FATIGUE PSYCHIQUE

Compte tenu des nombreux résultats isolés recueillis dans le cadre de la recherche sur les symptômes de la fatigue psychique, on se trouve, lorsqu'on veut élaborer une théorie, devant de nombreux points de départ fort disparates.

Sans entrer dans les détails, on peut constater qu'un certain nombre des théories plus anciennes sont fondées sur des modèles de pensée axés sur des données physiques. Par analogie avec la notion de travail utilisée en physique, il semble que, dans le travail mental, la réalisation d'une "performance" s'accompagne d'une consommation d'"énergie mentale"; la fatigue caractérise donc un état qui serait déclenché par une diminution de "l'énergie" potentielle. Très rapidement se sont élevées contre ces représentations mécanistes des voix qui se fondaient sur une contradiction entre, d'une part, les modifications de performance pouvant être attendues au titre de la théorie énergétique et, d'autre part, les modifications de performance réellement observées lors des expériences. L'un des critiques les plus éminents fut THORNDIKE qui mit au point une théorie propre dans laquelle les facteurs de régulation occupent une position centrale.

A. La "théorie de réaction biologique" de THORNDIKE

D'après THORNDIKE (90), un travail sans repos est trouvé moins satisfaisant parce qu'il perd l'attrait de la nouveauté, engendre l'ennui et impose certaines privations. Le fait qu'une activité uniforme entraîne, parfois même après un temps relativement court, de fortes sensations de fatigue, prouve selon THORNDIKE que ce n'est pas

la "consommation d'énergie" mais un glissement dans la structure de motivation de l'individu qui constitue la caractéristique décisive de l'état de fatigue. Comme argument en faveur de la mise en évidence de facteurs de motivation, citons également l'observation selon laquelle un changement d'activité peut brusquement éliminer les signes de fatigue, l'aversion qui accompagne l'obligation de poursuivre la même activité ayant disparu.

Le deuxième aspect essentiel de la théorie de THORNDIKE sur la fatigue réside dans l'idée de tenir compte non seulement des fonctions sollicitées pour l'exécution de la tâche mais aussi de toutes celles dont l'activité est interrompue par l'accomplissement de celle-ci. Lorsque la durée de sollicitation augmente, l'individu considère comme de plus en plus pénible de ne pouvoir se livrer à ses "occupations préférées". C'est moins l'activité elle-même que l'obligation de la poursuivre qui est la cause des impressions de fatigue et de déplaisir, lesquelles sont d'autant plus intensives que l'activité doit être exécutée pendant plus longtemps et qu'elle répond moins aux intérêts et penchants individuels.

Les explications de THORNDIKE montrent bien que le phénomène de fatigue psychique ne se prête pas à une interprétation énergétique pure et simple. Elles constituent une conception de la nature du sentiment subjectif de fatigue. En outre, elles mettent l'accent sur des phénomènes qui ultérieurement ont été étudiés plus en détail par d'autres auteurs, notamment les phénomènes de saturation et d'inhibition. Toutes ces théories renoncent à une discussion des conditions corporelles accompagnant les phénomènes de conscience, point sur lequel se fonde notamment la critique de VON BRACKEN lorsqu'il dit que la saturation et les inhibitions ne sont que des composantes du phénomène de fatigue et ne suffisent pas à fonder une théorie de la fatigue prétendant avoir une validité générale.

B. La "théorie des composants multiples" de VON BRACKEN

Selon VON BRACKEN (11), le rejet décisif par THORNDIKE de l'aspect de "consommation énergétique" n'est apparemment pas justifié.

Les modifications du système nerveux central dans l'état de fatigue ne sont pas sans dépendance avec l'offre d'oxygène, de produits d'alimentation et d'hormones ainsi que de l'évacuation de déchets du métabolisme cellulaire. Ces caractéristiques physiologiques ne sont pas en principe impossibles à interpréter quantitativement. VON BRACKEN pense que la mesure de la fréquence de fusion permet de saisir un certain nombre d'aspects des variations des diverses caractéristiques. Il se fonde en l'espèce sur des recherches de SIMONSON (87) et SCHMIDTKE (75) qui donnent à penser que la cause essentielle des modifications de la fréquence de fusion conditionnées par le travail, est moins la durée de l'effort que l'intensité de la tension psychique requise. Les recherches expérimentales ont en outre montré que des activités accomplies de mauvais gré, c'est-à-dire contre la volonté personnelle, sont ressenties subjectivement comme plus pénibles et produisent un abaissement plus marqué de la fréquence de fusion que des activités suscitant l'intérêt. La thèse de THORNDIKE selon laquelle l'intérêt n'ajoute rien à une réserve d'énergie et le mauvais gré ne peut rien lui enlever ne tient pas compte, selon VON BRACKEN, du fait que l'intérêt rend superflue l'activation supplémentaire des forces motrices internes en vue de la poursuite de la tâche, alors qu'une telle activation est continuellement requise en cas d'activités accomplies de mauvais gré.

VON BRACKEN appelle cette part du potentiel énergétique psychique disponible pour l'accomplissement d'une action : "Egokym". Il entend par là ce que l'on pourrait peut-être désigner comme la puissance de volonté ou d'attention volontaire. Par des mesures de variations fonctionnelles physiologiques, on pourrait éventuellement avoir un accès indirect aux variations du "niveau d'egokym". Toutefois, on n'aurait défini ainsi qu'une composante de la fatigue psychique. La diminution de la motivation - saturation - et la formation d'inclinations s'opposant à la poursuite de l'activité - inhibition - sont considérées par VON BRACKEN comme étant d'autres composantes.

Compte tenu du fait que le potentiel énergétique psychique

n'est pas uniquement mis à l'épreuve par l'accomplissement de la performance externe mais également par la compensation volontaire des états de saturation ou d'inhibition diminuant le rendement, il ne semble pas interdit de considérer comme composantes du phénomène de fatigue les grandeurs perturbatrices résultant des impulsions et aspirations humaines et compromettant la réalisation d'une tâche imposée de l'extérieur. Cette hypothèse est confirmée par certains arguments relevant du domaine de la neurophysiologie, la possibilité étant démontrée de déduire certaines théories conformes dans une large mesure avec les enseignements recueillis par la voie rigoureusement scientifique.

C. Théorie de la fatigue fondée sur les résultats de recherches neurophysiologiques

Les processus psychiques ne sont pas indépendants de divers processus physiologiques et ne sauraient se développer en dehors d'une certaine influence de structures organiques, notamment du système nerveux central. On est donc facilement amené à chercher dans les modifications fonctionnelles ou structurelles du cerveau humain la cause de modifications intervenant dans le déroulement de processus psychiques. Contrairement au coeur et à la musculature respiratoire, lesquels peuvent récupérer régulièrement grâce à l'activité alternative d'éléments distincts, les cellules nerveuses du système central se fatiguent plus rapidement et ont besoin de périodes de restitution. JUNG (42) considère que cette récupération de diverses parties du système nerveux central est liée à une lutte intracentrale et au changement de foyer de processus d'excitation, PAWLOW (67) fait état d'une inhibition (de protection) pouvant être interprétée comme une fatigue, tandis que BILLS (7) voit dans des processus de blocage au niveau du système nerveux central la caractéristique décisive de la fatigue "mentale".

Selon les constatations de HESS (39, 40, 41), on peut admettre que des centres de sommeil exerçant une influence sur le parasympathique et des centres de veille exerçant une influence sur le sympathique, sont localisés dans le diencéphale. Les impulsions en provenance des centres de sommeil pourraient, d'une part, provoquer une diminution des fonctions corticales caractéristiques des états de fatigue et, d'autre part, exercer une influence sur les centres végétatifs.

HESS conclut à l'existence de deux dispositifs fonctionnels végétatifs présentant entre eux un rapport antagoniste : la fonction ergotrope liée au système nerveux sympathique active la régulation actuelle de la performance, tandis que la fonction trophotrope, par l'intermédiaire du système parasympathique, amorce et entretient la phase générale de restitution.

D'après HESS, la formation réticulaire est continuellement le siège, à l'état de veille, d'impulsions qui augmentent le rendement des fonctions corticales. En outre, l'activité de la formation réticulaire peut être intensifiée par la voie de stimulations afférentes des nerfs sensibles et le degré de "veille" peut ainsi être augmenté, de telle sorte qu'on se trouve manifestement ici en présence d'un circuit réactif d'impulsions thalamocorticales et corticothalamiques. Comme il existe en outre une corrélation étroite entre la fonction de la formation réticulaire et les fonctions ergotropes du sympathique, une activation de la formation réticulaire par les zones corticales conduit, par l'intermédiaire du système nerveux sympathique, à une régulation ergotrope de l'organisme.

On peut se fonder avantageusement sur ces faits pour élaborer une théorie générale de la fatigue psychique qui fait également place désormais aux sensations de fatigue et aux états semblables à la fatigue comme la monotonie et l'hypersaturation. La disparition brusque de sensations de fatigue dans une situation pauvre en stimuli, grâce à de nouvelles afférences qui suscitent l'intérêt, confirme cette hypothèse.

Si l'on en croit les explications les plus récentes d'auteurs américains, la mise en opposition par HESS de centres de veille et de sommeil n'est plus tout à fait défendable. Mais même si ces chercheurs n'admettent pas un mécanisme actif de sommeil, les résultats de leurs recherches sur le système d'activation sont d'une importance telle qu'il semble impossible de ne pas les examiner brièvement.

MORUZZI et MAGOUN (66) ainsi que LINDSLEY, BOWDEN et MAGOUN (54) ont prouvé que le passage de l'état de veille au sommeil dans l'électroencéphalogramme n'est pas conditionné par un arrêt des afférences à destination du cortex mais par une diminution des courants d'impulsion réticulaire.

Rappelons que les voies afférentes allant des divers systèmes de réception au cortex, envoient des impulsions collatérales dans la formation réticulaire (fig.1). Toute excitation sensorielle externe donne donc lieu tout d'abord à une excitation spécifique du cortex et produit simultanément, par les voies latérales une excitation du système d'activation réticulaire, laquelle à son tour est à l'origine d'une excitation corticale non spécifique (26, 89). Pour sa part, par l'intermédiaire d'un circuit réactif, le cortex, en état de désynchronisation, envoie à la formation réticulaire, des impulsions qui stimulent son activité. On peut se demander à présent grâce à quels mécanismes ce système ne devient pas instable dans le sens d'une hyperactivation.

Selon LINDSLEY (53), HERNANDEZ-PEON et HAGBARTH (38), ainsi que SCHEIBEL e.a. (74), il est clair que la régulation est assurée par le fait que lorsque le niveau d'afférences est trop élevé sur les voies cortico-réticulaires, le système d'activation est inhibé et par conséquent l'excitation non spécifique du cortex provenant des formations réticulaires accuse une certaine baisse. On pourrait également penser, en émettant une hypothèse d'ordre plus fonctionnel, que le passage des impulsions afférentes entrant par les voies latérales dans la formation réticulaire est arrêté par les neurones de connexion qui s'y trouvent, ce qui entraîne une baisse du niveau d'activité du système nerveux central.

En tout cas, de nombreux résultats expérimentaux indiquent que lorsque la durée de l'effort augmente, la fonction du système d'activation réticulaire se relâche, c'est-à-dire que la fatigue se manifeste comme une désactivation. Il ressort clairement des essais de SCHMIDTKE (82) qu'une diminution de rendement conditionnée par la fatigue ne repose fort vraisemblablement pas, à titre primaire, sur une perturbation fonctionnelle corticale mais sur une perturbation fonctionnelle subcorticale. Une telle régression fonctionnelle a également une incidence inhibitrice sur l'ensemble des activités du cerveau. Cette interprétation fait également comprendre la naissance de sensations subjectives de fatigue en cas de travail uniforme; car plus restreinte est l'offre de stimuli externes ou plus l'individu s'adapte aux stimuli présents et plus intenses sont les sensations



Figure 1

Représentation schématique du système d'activation
réticulaire ascendant (ARAS) dans lequel aboutissent
des impulsions collatérales provenant de voies de
conduction sensorielles spécifiques (d'après LINDSLEY)

de monotonie. On ne peut guère s'étonner du fait que lorsque le courant afférent augmente lors d'un changement d'activité, le niveau général d'activité s'accroît rapidement et les sensations de fatigue disparaissent.

On ne peut exclure que la fatigue soit également une conséquence d'une hyperactivation du système nerveux central. Des interprétations assez récentes de HAIDER (34) et MALMO (61) attribuent l'hyperactivation lors de la fatigue à un accroissement de la sensibilité de la formation réticulaire pour chaque impulsion afférente.

Quant à la théorie de la sensation de fatigue fondée sur les explications de SCHAEFFER (73) et qui s'insère tout naturellement dans la conception neurophysiologique retenue jusqu'ici, elle ne peut être que mentionnée dans le cadre de cette étude.

IV - RECHERCHES SUR LES METHODES DE MESURES

Eu égard aux difficultés non négligeables de définition de la fatigue comme phénomène psychophysique complexe et pour des raisons théoriques, on ne peut guère compter qu'il sera aisé de mesurer la fatigue psychique. Les recherches ont donc dû se limiter en règle générale aux phénomènes connexes d'un processus que l'on qualifie d'une manière globale de fatigue. Quoi qu'il en soit, ce recours à des phénomènes connexes a montré que l'on doit considérer aujourd'hui comme très aléatoire l'existence d'une caractéristique unique représentative des modifications fonctionnelles diverses et partiellement contradictoires observées dans l'état de fatigue.

Une autre difficulté fondamentale pour la mesure de la fatigue psychique provient du fait que la possibilité d'exploitation de données de mesures est également fonction de la définition, au sens physique, du type de sollicitation préalable conduisant au phénomène de fatigue. Mesurer le travail mental dans cette optique est impossible, toute définition physique même approximativement appropriée de cette notion faisant défaut. C'est pourquoi les essais de mesure ne peuvent avoir une signification qu'au sens opérationnel, le défaut d'un

système de référence générale approprié rendant malaisé et même excluant l'interprétation de résultats de mesures au sens étroit.

En raison de ces difficultés, il existe donc un nombre considérable de points de départ pour étudier le phénomène de la fatigue. Comme ce sont toujours des symptômes isolés de fatigue psychique qui sont étudiés, on est tenté de sérier les méthodes de mesure en se fondant sur la manière dont les différents syndromes de fatigue se distinguent les uns des autres. Selon leur point de départ méthodique, ces méthodes peuvent être subdivisées en méthodes à caractère essentiellement physiologique ou en méthodes à caractère essentiellement psychologique.

A. Méthodes de mesure physiologiques

On peut considérer que ces méthodes de mesures sont essentiellement fondées sur la physiologie musculaire, la physiologie du système nerveux central et la physiologie du système végétatif. Par opposition aux deux premiers points de départ qui trahissent des modifications plutôt centrales, la physiologie du système végétatif apporte en outre des précisions sur certaines modifications spécifiques de physiologie sensorielle, notamment des perturbations réceptrices, qui peuvent avoir une valeur de syndrome propre et doivent donc aussi être étudiées isolément.

1) Méthodes relevant de la physiologie musculaire

Depuis la mise au point des méthodes de mesure des modifications quantitatives du processus métabolique, de nombreuses expériences ont été entreprises pour déterminer l'incidence de l'effort mental sur le métabolisme. Les travaux plus anciens se sont soldés par des résultats tellement divergents que les chercheurs se sont initialement montrés fort sceptiques quant à la valeur des mesures fondées sur le métabolisme lors d'un effort psychique. Les valeurs de KESTNER et KNIPPING (d'après GOEPFERT (28), donnant des accroissements d'échange entre 8 et 10 kcal/h, les expériences de WACHOLDER (94, 95) confirmant ces valeurs ainsi que les mesures de COREY, lequel a constaté chez les pilotes participant à des manoeuvres aériennes de degrés de difficultés divers en link-trainer des accroissements d'échange allant

jusqu'à 30% et un accroissement de la fréquence respiratoire de 10,5 à 15,5/mn, remettent cette appréciation négative en question.

Des recherches plus récentes de GOEPFERT e.a. (25,28,29) indiquent, pour des performances de calcul du type du test de calcul de Kraepelin, des accroissements des échanges d'environ 16%. En outre, GOEPFERT a découvert qu'en cas de tension mentale, ce ne sont pas seulement les échanges qui s'accroissent, mais également l'activité de la musculature. L'hypothèse selon laquelle l'accroissement global des échanges procède des tensions musculaires accompagnant les processus psychiques est également confirmée par d'autres résultats. En dépit de cela, le rapport entre l'importance des changements énergétiques et l'effort psychique n'a pas encore pu jusqu'ici être interprété quantitativement.

2) Méthodes relevant du domaine de la physiologie du système nerveux central

Les efforts pour trouver dans certaines modifications de l'activité nerveuse centrale des indicateurs de la fatigue psychique n'ont pas jusqu'ici dépassé le stade des premiers essais tâtonnants. Toutes les approches se fondaient sur l'analyse des phénomènes électriques du cerveau qui se manifestent dans l'électro-encéphalogramme (EEG). Même si ces essais de mesure de la fatigue psychique ne sont pas encore appropriés, ils semblent au moins tous concorder pour indiquer, comme réaction consécutive à une sollicitation psychique, une diminution de la part ainsi que de la fréquence de l'amplitude des ondes alpha et en même temps un accroissement des ondes bêta et intermédiaires.

SICKEL (85,86) et BABADSCHANJAN e.a.(3) indiquent en outre qu'il est manifeste que l'importance des modifications susvisées dans l'électro-encéphalogramme est en relation de corrélation avec l'intensité et la durée de la charge préalable résultant du travail expérimental. Signalons encore une constatation connexe importante : il est parfois possible de déduire de l'électro-encéphalogramme des informations sur la durée des processus de restitution, lesquels donneraient indirectement des indications sur le degré de la fatigue. Seules des expériences ultérieures pourront faire la lumière sur ce point.

Comme l'électro-encéphalogramme n'est pas soumis à de nombreuses sources de perturbation, un diagnostic fondé sur lui offrirait de nombreux avantages. Il semble que l'on dispose en l'espèce d'un procédé dont les possibilités dans le domaine de la recherche psychologique commencent seulement à se dessiner.

3) Méthodes relevant du domaine de la physiologie du système végétatif

Les premiers essais d'obtenir par des mesures de certains changements d'état physiologiques dans le domaine végétatif des indications sur la fatigue psychique ont été effectués par BINET et HENRI (8) ainsi que par ZONEFF et MEUMANN (99). Ils ont essayé de découvrir notamment un rapport de dépendance quantitatif entre la fatigue et une modification de la respiration. Mais cette approche est restée sans résultat.

On a fréquemment tenté jusqu'ici, de prendre les modifications de la fréquence cardiaque comme indicateur, même pour la fatigue psychique. La difficulté de ce procédé réside dans le fait qu'un nombre assez important de facteurs comme la sollicitation musculaire, l'attitude du corps, le climat ambiant, les processus rythmiques, etc., influent sur l'activité cardiaque. Aussi n'est-il pas aisé d'isoler la part d'accroissement de la fréquence cardiaque indiquant une diminution de rendement des instances centrales d'élaboration.

En dépit de cette limitation, plusieurs travaux publiés au cours des dernières années indiquent que la fréquence cardiaque s'accroît également lors d'un travail mental par suite de l'accroissement du degré de tension. C'est ainsi que MEYER-DELIUS (63) a observé lors d'un travail expérimental un accroissement de la fréquence cardiaque de 25% comparativement à la valeur de repos, tandis que RUTENFRANZ (71) lors de tâches de calcul mental d'une assez grande difficulté a trouvé des accroissements de 10 à 15% et même, lorsque la vitesse de calcul augmentait, un accroissement allant jusqu'à 25%. BARTENWERFER (5) a également observé que la fréquence cardiaque s'accélérait à mesure que la difficulté d'une tâche augmentait. Lors de ces recherches, il a tenté d'isoler la part d'accroissement de la fréquence cardiaque d'origine psychique. Mais l'augmentation retenue de 1 à 6 battements par minute imputable à la composante "charge psychique" ne peut toutefois donner aucune indication digne de confiance compte tenu de la variabilité non négligeable de la fréquence cardiaque d'une minute à

l'autre. A cela s'ajoute qu'ici aussi, on pourrait invoquer sous une forme modifiée l'hypothèse de GOEPFERT selon laquelle cette accélération du rythme cardiaque lors d'une sollicitation d'ordre psychique pourrait s'expliquer par l'augmentation du tonus musculaire accompagnant cette forme d'activité. Le problème d'un isolement rigoureux de l'accélération du pouls dû à une charge psychique reste donc ouvert.

Récemment, SCHMALE et SCHMIDTKE (74 a) ont pu observer chez des musiciens d'orchestre une accélération considérable du pouls résultant de l'effort psychique. Par exemple, au cours d'une représentation d'Othello de Verdi, ils ont relevé chez un violoncelliste, chaque fois qu'il intervenait, des fréquences cardiaques de 156 puls./min. (au repos : 82 puls./min.) - ce qui correspond presque à un doublement de la fréquence pulsatoire (voir fig. 2).

Une autre méthode de recherche concernant l'incidence d'une activité essentiellement psychique sur la fonction circulatoire consiste en la mesure de l'arythmie pulsatoire. WIERSMA (98) et KALSBECK (45) ont constaté que la fréquence pulsatoire lors d'une charge psychique présente une très bonne régularité alors qu'elle devient plus irrégulière au fur et à mesure que la tension décroît. Bien entendu, les recherches effectuées jusqu'ici ne permettent pas de dire si cette arythmie pulsatoire varie avec la grandeur de l'effort d'une manière suffisamment manifeste que pour faire supposer une véritable relation de dépendance, d'autant plus qu'on sait que l'arythmie respiratoire du pouls notamment est influencée essentiellement par des facteurs constitutionnels, fonction de l'âge, et par des facteurs spécifiques du sexe.

De cette approche relèvent également les tentatives visant à établir des rapports entre les modifications de résistance électrique de la peau et la charge psychique. Alors que ces derniers temps, de nombreux auteurs n'avaient examiné les modifications de résistance que sous l'angle de la rythmique biologique, KROEBEL (48) et HEINZE (37) ont tenté de les exploiter comme indicateurs de la fatigue psychique. D'après eux l'allure du réflexe psychogalvanique au cours de la période d'accroissement constitue un paramètre qui est en corrélation avec la charge psychique et diminue lorsque la fatigue augmente. Le simple fait que les essais doivent être effectués sur des personnes immobilisées rend difficile une utilisation plus large de cette approche. En ce qui concerne la recherche sur la fatigue, le problème de la stabilité intra-individuelle du réflexe psychogalvanique dans des conditions de départ comparables est d'une importance décisive. D'après WENGER (97), les types de réaction physiologiques végétatives présentent un degré satisfaisant de stabilité et peuvent donc être utilisés

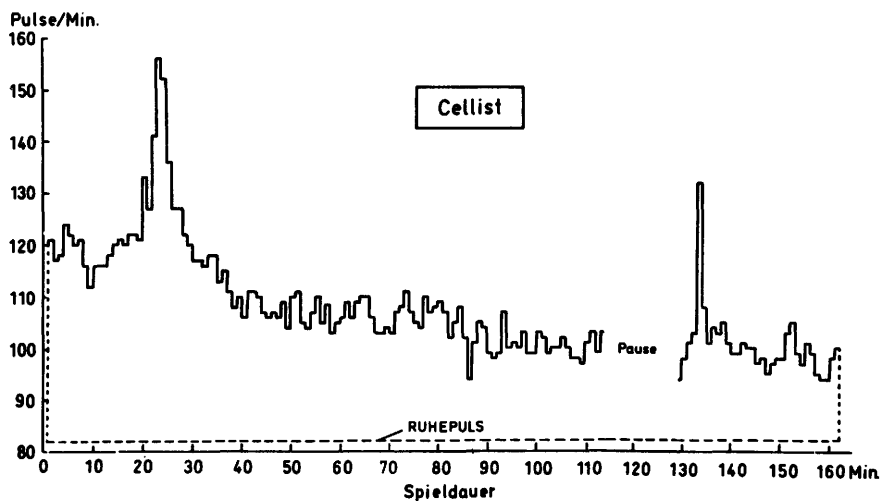


Figure 2

Variations de la fréquence cardiaque d'un violoncelliste;
exécution d' "Othello" de Verdi
(d'après SCHMALE et SCHMIDTKE)

Pulse/Min. = Pouls/min.

Pause = Pause

Ruhepuls = Pouls au repos Spieldauer = Durée de l'exécution

Min. = Min.

comme moyen de diagnostic. Les différences considérables, même les contradictions, entre les résultats d'essais effectués par différents auteurs sont attribuées par LACEY (51) au fait qu'en dépit de la stabilité intra-individuelle de ces réactions, des différences inter-individuelles considérables surviennent dans le type de réaction et qu'en outre, chez un seul et même sujet, un indicateur peut avoir un résultat positif, l'autre un résultat négatif. Les recherches de BURCH et GREINER (18) fournissent une preuve de l'importance de ces différentes situations végétatives de départ. Selon eux, l'utilisation des mesures de la résistance de la peau ne peut être bénéfique que lorsque les essais de charge sont précédés de recherches sur la réactivité autonome générale des individus. Grâce à une telle action, cette méthode pourrait gagner considérablement en importance en ce qui concerne les recherches sur la fatigue.

Au cours des dernières années, c'est particulièrement MIES (65) qui s'est consacré à l'utilisation de la mesure de la chronaxie comme indicateur de la fatigue. Même si les courbes publiées par lui montrent une relation de dépendance manifeste avec la durée de la charge préalable, il ne faut pas oublier que des glissements même faibles des électrodes de mesure au cours de la période de travail conduisent à des résultats fort différents. Comme en outre la mesure de la chronaxie s'effectue au travers de la peau, les modifications des caractéristiques électriques de la peau influencent également les mesures. Il est vrai que des chercheurs russes ont obtenu au cours de leurs mesures des modifications reproductibles, fonction de la grandeur et de la nature de la charge préalable, mais ici non plus l'unanimité n'est pas faite quant à l'utilisation de la mesure de la chronaxie dans les recherches sur la fatigue. Aussi n'est-il pas étonnant que ce procédé n'occupe pas encore, dans les recherches actuelles sur la fatigue, une place assurée.

4) Méthodes relevant du domaine de la physiologie sensorielle (perturbations de la réception)

Les méthodes envisagées jusqu'ici étaient axées sur des modifications physiologiques qui, dans leurs effets - lorsqu'il y en avait - n'étaient ressenties qu'indirectement comme gênantes. A ces modifications s'opposent des changements de performances de réception, phénomènes consécutifs à des efforts sensoriels spécifiques ou à des

charges psychiques générales, lesquels se répercutent directement sous forme de perturbations du rendement humain ou conduisent à des phénomènes de carence fonctionnelle. Lors des travaux de recherche, l'accent a été mis tout particulièrement sur les fonctions de la vue et de l'ouïe.

Une fatigue du système de réception "oeil" devrait s'exprimer d'une manière primaire par une détérioration de l'acuité visuelle telle qu'elle a été décrite par différents auteurs. Comme ces essais n'ont toutefois pas été effectués dans des conditions d'éclairage constant, la modification d'acuité visuelle observée au cours de la journée est, selon toute vraisemblance, imputable plutôt à des différences de brillance qu'à la fatigue. Cette hypothèse est confirmée par les recherches de KROEBEL (49,50), lequel a constaté, lorsque la brillance diminuait, une détérioration des rapports de contraste et par conséquent, de la sensibilité différentielle et de l'acuité visuelle. Même les recherches de divers autres auteurs ne donnent aucune indication sur une modification de l'acuité visuelle pendant la journée comme symptôme d'une fatigue de la réception.

Même les nombreuses tentatives de tirer des conclusions, quant à la fatigue, de modifications, observées pendant le jour, de l'amplitude d'accommodation et du champ visuel doivent être considérées, compte tenu du caractère contradictoire des résultats, comme n'étant pas valables. L'opinion défendue récemment selon laquelle l'amplitude de fusion dans l'acte visuel binoculaire constitue un critère de mesure approprié pour la fatigue ne résiste pas non plus à une critique sérieuse. De trop nombreux facteurs d'influence physiologiques et même psychologiques agissent sur le réflexe de fusion.

LUCKIESH et MOSS (57,58,59) ont quant à eux recommandé comme symptômes de la fatigue visuelle les modifications de la fréquence de clignement des paupières. Or, des expériences ultérieures ont montré que dans cette méthode, la reproductibilité inter et intra-individuelle des valeurs de mesure était si faible qu'on ne pouvait sérieusement penser à l'utiliser.

Par contre, on doit considérer comme plus positive la méthode

d'enregistrement des modifications du réflexe pupillaire recommandée par LOWENSTEIN et LOEWENFELD (55,56). Par la méthode la pupilographie les deux auteurs ont réussi à démontrer le parallélisme entre les altérations organiques du cerveau et des états de fatigue centrale. En conformité avec les constatations de HESS sur la fonction du diencephale, LOWENSTEIN a constaté que la fatigue centrale peut être compensée par un accroissement d'activité du système sympathique, déclenché par des impulsions ou émotions sensorielles. En ce qui concerne l'utilisation de cette méthode pour mesurer et diagnostiquer la fatigue psychique, on ne dispose toutefois jusqu'ici d'aucun résultat nouveau.

Une autre méthode, introduite en Allemagne par SCHMIDTKE (75, 76) et VON BRACKEN (11), consiste à mesurer la fréquence de fusion optique. Par cette méthode, on définit le passage subjectif du seuil de fusion, l'individu étant soumis à un stimulus lumineux intermittent. Il a pu être prouvé dans les travaux de SCHMIDTKE et au cours des recherches multiples qui leur ont fait suite que la mesure de la fréquence de fusion des scintillations ne porte pas sur des modifications fonctionnelles périphériques dans l'appareil récepteur, mais plutôt sur des modifications du type nerveux central. L'avantage particulier, mais aussi en même temps le désavantage de cette méthode réside dans le fait que d'une part elle fait appel d'une manière très spécifique à l'effort psychique, d'autre part que les opérations de mesure exigent une interruption de l'activité principale qui fait l'objet de l'expérience et qu'en raison de la sensibilité de la méthode, on ne peut déterminer dans quelle mesure ces interruptions sont à l'origine de variations des valeurs de mesure n'ayant pas d'équivalent correspondant au plan de la performance.

Comme on l'a fait dans le domaine de la vue, on a également essayé à plusieurs reprises de tirer, des modifications du rendement sensoriel spécifique de l'ouïe, des conclusions sur une fatigue centrale. Au cours de ces recherches, le centre d'intérêt était constitué par les variations du seuil supérieur d'audibilité en fonction de la durée et de l'intensité de la charge préalable. C'est ainsi par exemple que HERWIG a mis au point un procédé de mesures du seuil supérieur d'audibilité. La chute ou la remontée des fréquences limites mesurées à ce niveau semblent être en relation plus étroite avec les variations de l'état d'adaptation qu'avec la fatigue psychique.

Même le procédé mis au point par DAVIS (19) pour la mesure de la fréquence de fusion des stimuli auditifs ne peut avoir à l'heure actuelle qu'une importance fort secondaire, aucun essai de contrôle n'ayant été effectué et une appréciation de la méthode expérimentale de DAVIS n'étant pas possible en raison du manque de données.

La littérature, d'un volume presque incalculable, relative à la relation entre l'action du bruit et le rendement ne donne aucune indication permettant de conclure que les perturbations des récepteurs sensoriels de l'oreille interne sont en rapport avec la fatigue centrale. Bien plus, tout semble indiquer que des altérations des récepteurs doivent être attribuées, à titre primaire, à des effets d'adaptation ou d'assourdissement temporaires. Aucun des nombreux auteurs ne démontrent que les variations mesurées des fonctions indicatrices sont en relation avec la fatigue. En tout état de cause, on peut conclure de ces constatations que l'action relativement intense du bruit entraîne des réactions végétatives et peut donc avoir une incidence directe sur les phénomènes de fatigue.

Les tentatives de tirer des modifications d'autres dispositifs sensoriels des conclusions relatives à la fatigue sont tellement douteuses quant à leur conception générale qu'une discussion approfondie n'ouvre pas d'horizons nouveaux.

B. Méthodes de mesure psychologiques

Parallèlement aux nombreux essais de mesure fondés sur des méthodes de recherche physiologiques, on a également, au cours des temps, pensé à utiliser des méthodes psychologiques pour diagnostiquer ou mesurer la fatigue. D'après nos conceptions actuelles, ces efforts, quant à leur conception, leur réalisation, leur exploitation, n'étaient pas de nature, à maints égards, à procurer effectivement de nouvelles connaissances. Si toutefois, en dépit de ces résultats modestes, les chercheurs ont continué à s'attacher au problème de la fatigue, cela ne peut que prouver l'importance que revêt ce problème sur un plan général.

Si l'on tente de classer les diverses méthodes de mesure de la fatigue, on peut, d'après SCHMIDTKE (82) discerner au moins cinq groupes : les essais de travail, les expériences de rendement, les expériences de coordination psychomotrice, les méthodes relevant de la psychologie de la perception et de la motivation. Il va de soi que cette subdivision, plutôt axée sur la technique opératoire, ne peut être fondée sur des symptômes bien définis. C'est ainsi par exemple que pour divers essais de travail, on peut relever comme important, selon le type de travail, des symptômes de fatigue qui exigent des méthodes de mesure différentes. La tentative de déduire des courbes de travail et des données relatives au rendement des informations sur le degré de fatigue s'est avérée peu rentable, étant donné qu'il est impossible d'éliminer les nombreux autres facteurs ayant une incidence sur le rendement. En outre, de tels essais de travail n'étaient pas utiles au premier chef à la recherche sur la fatigue mais à la recherche sur le rendement au sens strict, étant donné l'impossibilité de tirer des différences de rendement des conclusions directes en ce qui concerne la fatigue.

C'est pourquoi - rappelons-le - on a tenté de classer les méthodes de mesure d'après les différents symptômes en ayant recours à nouveau à la subdivision de SCHMIDTKE (82), lequel distingue les syndromes de fatigue suivants :

- 1) troubles de la réception
- 2) troubles de la perception
- 3) troubles de la coordination
- 4) troubles de l'attention et de la concentration
- 5) troubles de la pensée
- 6) troubles de la fonction motrice directrice de la personnalité
- 7) perturbations des relations sociales.

Les troubles de la réception qui sont mesurés essentiellement au moyen de méthodes physiologiques ont déjà été examinés plus en détail au chapitre précédent. Nous ne ferons état ci-après que de méthodes servant à la mesure des autres troubles, plutôt psychologiques. Une délimitation exacte étant souvent impossible, signalons dès l'abord que même cette répartition présente certaines faiblesses.

1) Méthodes de mesure de troubles de la perception

De nombreux phénomènes de fatigue couramment désignés sous le terme général de "fatigue visuelle" ne sont pas de nature visuelle, mais caractérisent des carences fonctionnelles dans le système nerveux central. De telles diminutions fonctionnelles peuvent également survenir dans les centres traitant les informations des organes sensoriels et conduisent alors à des troubles caractéristiques de la perception qui peuvent s'étendre des altérations les plus légères des stimuli sensoriels aux troubles massifs de la perception à caractéristique psychopathologique.

Selon VON BRACKEN (12), l'un des critères décisifs de la fatigue psychique réside dans un relâchement général de l'harmonie de la personnalité. Un tel relâchement dans l'harmonie mentale s'exprime notamment par l'évolution lente d'un type de conception et d'observation plutôt analytique à un type de conception et d'observation plutôt global. Par conséquent, si l'hypothèse de la régression due à la fatigue est valable au niveau des activités globales de perception, il devrait être possible d'en trouver des preuves au cours d'expériences relevant du domaine de la psychologie de la perception.

Dans ses recherches sur les illusions d'optique EHRENSTEIN et coll. (23,24,69) a pu montrer effectivement qu'il existe une relation entre la marge d'erreurs, par ex. devant la figure Müller-Lyer, et la charge préalable, même si cette relation est plus de nature qualitative que quantitative. Mais cette limitation signifie que la méthode des illusions d'optique, qui peut être utilisée avantageusement comme méthode auxiliaire pour diagnostiquer la fatigue, ne peut guère toutefois servir à une mesure de la fatigue au sens strict.

Un résultat pouvant étayer la conception de VON BRACKEN et les recherches expérimentales de EHRENSTEIN a été obtenu par HAIDER (33), qui a examiné l'incidence de la fatigue sur l'image résiduelle négative.

HAIDER a pu montrer que des personnes testées qui s'étaient plon-
gées profondément dans un essai d'addition d'une durée de 90 minutes
(KRAEPELIN) percevaient à la fin de l'essai une image résiduelle rouge
et verte pendant une durée supérieure de 8%, la prolongation atteignant
même 25% pour une image résiduelle en noir et blanc. Mais même ici, la
relation est plus de nature qualitative; il semble qu'une mesure de la
fatigue au sens strict ne soit guère possible.

C'est dans le même sens que vont les recherches de VOIGT (92), le-
quel a étudié, s'il est possible de découvrir expérimentalement des
modifications, conditionnées par la fatigue, de la disposition et de
la tournure intramentale ainsi que de la dynamique structurelle comme
expression de certaines "constantes de condition transphénoménales du
mental", c'est-à-dire si des facteurs externes comme par exemple la
fatigue acquièrent une influence sur les activités génétiques actuel-
les. Sur la base de ces recherches, VOIGT considère qu'il est possi-
ble, dans l'état de fatigue, de déceler des modifications aux condi-
tions transphénoménales de "formation du sens" et qu'en outre les in-
interprétations deviennent plus nombreuses, moins critiques et plus fan-
taisistes. Ainsi, cette méthode révèle aussi bien des modifications
qualitatives du processus de perception et d'expérience que les phéno-
mènes, à mentionner dans un autre ordre d'idées, de relâchement de
l'harmonie de la personnalité à la suite d'un affaiblissement de la
fonction directrice et inhibitrice centrale. L'approche génétique ne
constitue pas une méthode de mesure au sens propre du terme. Quoi
qu'il en soit, il ressort des essais de VOIGT que le fait de se former
prématurément une opinion sur des situations perçues et de s'y tenir
sans aucun esprit critique, constitue le symptôme essentiel de la fa-
tigue psychique dans le domaine de la perception.

Toutefois, à la suite d'une charge psychique, il peut survenir
également des troubles de la perception tels que certaines données du
monde environnant soient perçues incomplètement ou d'une manière faus-
se. Comme de telles perturbations conduisent assez fréquemment à des
infractions à certaines normes obligatoires, il n'est pas rare que
l'on trouve dans l'exploitation de résultats d'enquêtes sur les acci-
dents, la remarque que l'intéressé n'a "pas pensé à quelque chose".
Même, si en règle générale, on ne se fie guère à ces remarques, il est

toutefois pensable que même une personne prudente rentrant de son travail après une journée astreignante peut être sujette à de tels troubles de la perception. Même si jusqu'à présent aucune recherche systématique n'a été effectuée sur ces symptômes de fatigue, une étude fournie par le groupe de travail de SCHÖBER procure un certain nombre d'éléments de base. HARTMANN (35) notamment, s'est livré à une étude de la relation entre la perception d'une figure-test par un conducteur routier et le pouvoir éclairant de cette figure, en fonction de la durée de trajet ininterrompu. Il ressort des résultats qu'au cours des 90 premières minutes de trajet, aucune fatigue n'est encore apparue et que le niveau d'attention est donc élevé. Au cours des 90 dernières minutes des essais de cinq heures, les résultats peuvent toutefois être interprétés, compte tenu des temps de réaction plus longs et de la distraction croissante, dans le sens d'une augmentation progressive de la fatigue et d'une baisse consécutive de l'attention (fig.3).

Fort semblables aux symptômes de "négligence" sont les méprises sur la teneur des perceptions. Dans ces cas de perturbation, l'excitation sensorielle est correctement communiquée aux instances centrales d'exploitation, mais l'interprétation de la chose perçue est erronée. Dans des cas extrêmes, un véritable blocage du pouvoir de perception consciente peut même avoir lieu. Les symptômes de fatigue qu'on désigne de la manière la plus approchante par les termes d'illusion et d'hallucination font également partie des perturbations observées au niveau de la perception.

Divers chercheurs qui ont tenté d'établir une relation entre ces perturbations de la perception et la fatigue, n'ont pu découvrir tout au plus qu'une relation qualitative. Comme peu d'essais seulement ont été effectués jusqu'ici en ce sens et qu'en outre une quantification des résultats se heurte à des difficultés considérables, on ne peut guère voir dans cette approche une méthode valable de mesure de la fatigue.

2) Méthodes de mesure de troubles de la coordination

Un autre complexe de symptômes de la fatigue psychique est caractérisé par des perturbations dans la genèse du mouvement. Par opposition aux troubles du mouvement déclenchés par la fatigue de la

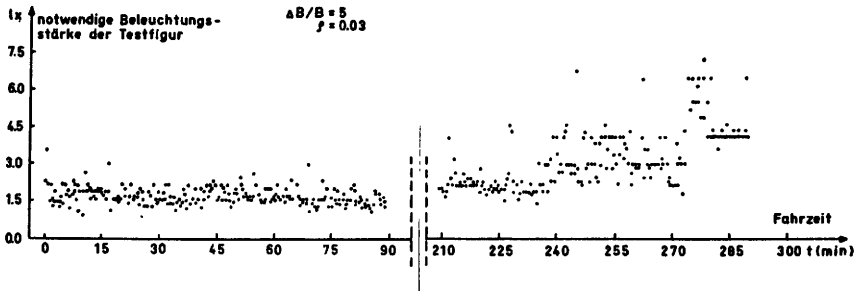


Figure 3

Incidence de la performance ininterrompue d'un conducteur de camion, parcourant l'autoroute de nuit, sur l'éclairage nécessaire pour percevoir une figure-test (d'après HARTMANN)

Notwendige Beleuchtungsstärke der Testfigur = Pouvoir éclairant de la figure-test Fahrzeit = Durée du trajet

musculature squelettique, lesquels s'expriment essentiellement par un ralentissement de la vitesse de mouvement moyenne et une diminution de la force musculaire, les troubles qualitatifs du mouvement survenant comme phénomène consécutif à un effort psychique conduisent à une diminution du caractère continu de la genèse des mouvements et à une désagrégation des fonctions coordinatrices. D'après les résultats de recherches électrophysiologiques, on est en droit de supposer que le seuil d'excitation des fibres contractiles se déplace et que, par conséquent, des impulsions d'innervation volontaires toujours plus fortes deviennent nécessaires pour atteindre le même effet moteur. Mais si la "capacité de rendement" des centres produisant et modelant les impulsions volontaires se relâche, il arrive parfois que les impulsions atteignant le muscle n'ont pas l'intensité requise pour passer le seuil d'excitation élevé, de telle sorte que les processus volontaires de formation du mouvement ne se déroulent qu'imparfaitement.

Parmi les expériences plus anciennes de coordination psychomotrice qui ont trouvé leur place dans la recherche sur la fatigue, citons entre autres l'essai de contrôle des deux mains (appareil de support) d'après MOEDE et RUPP et le test du trémomètre fréquemment utilisé dans l'ancien diagnostic de qualification. Dans cet ordre d'idées, RYAN et WARNER (72) ont pu prouver, dans une étude sur la fatigue des conducteurs de camions, que la précision de mouvements orientés devenait notablement plus faible après un trajet plus long. Au total, leur méthode, qui offre de nombreuses similitudes avec le trémomètre, indiquait une détérioration de la coordination oeil-main d'environ 20% comparativement aux valeurs observées avant le début du trajet. Mais il est évident que l'exercice de telles activités est dans une large mesure fonction de l'entraînement, de sorte que les résultats ne permettent pas de tirer des conclusions sérieuses quant à l'état de fatigue individuel.

Même les appareils d'essai de pilotage fréquemment utilisés ces derniers temps (GRAF (30), BARTENWERFER (4), SMITH (88), HAEKKINEN (32) e.a.), et dans lesquels une marque mobile doit être maintenue couverte au moyen d'une bande qui se déroule irrégulièrement, n'ont fourni aucune nouvelle approche pour diagnostiquer la fatigue. Le rendement exigé est dans une large mesure fonction de l'entraînement et les facteurs psycho-moteurs qui en constituent les fondements sont peu uniformes.

L'accumulation de frappes fautives, après une période relativement longue de travail à la machine à écrire, constitue également un symptôme de troubles centraux de coordination dans le délicat mécanisme humain. Il ressort d'une recherche de SCHMIDTKE (82), qu'outre la relation entre la vitesse de frappe et la durée de l'effort, il existe encore une autre grandeur d'influence, liée au degré d'agencement des unités du texte à l'intérieur du programme d'essai. En effet, plus le degré d'agencement des modèles de textes augmente, c'est-à-dire plus la teneur significative des unités de présentation s'accroît, et plus manifeste est la perturbation relative du processus d'écriture. Même si cette méthode ne permet pas d'élaborer une méthode de mesure, on peut toutefois en conclure que dans l'état de fatigue, sont essentiellement inhibés des centres nerveux qui sont le siège du traitement intégrateur des afférences provenant des organes sensoriels.

Les résultats de VOIGT (91), lequel a analysé des modifications de l'écriture sous une charge croissante, et ceux de BROZEK (16,17), lequel a étudié pour la première fois des modifications du mécanisme oculaire conditionnées par la fatigue, révèlent, les premiers par un élargissement de l'écriture, les seconds par un accroissement de la durée de fixation, un rapport manifeste avec l'intensité de la charge préalable et par conséquent avec la fatigue. Ces perturbations qualitatives ne peuvent toutefois être utilisées que sous réserve pour la mesure de la fatigue psychique.

3) Méthodes de mesure des troubles de l'attention et de la concentration

La capacité humaine d'attention et de concentration qui, d'après DUEKER (21) constitue une expression de l'intensité véritable de l'attention psychique, paraît particulièrement sensible aux influences de la fatigue psychique. Il n'est donc pas étonnant que dès le début des travaux de recherche sur la fatigue psychique, les symptômes relevant de ce domaine ont été considérés comme fort importants et ont donné lieu jusqu'à l'heure présente à des recherches plus approfondies. Aussi, nombreux sont les points de départ utilisés pour mesurer le degré de fatigue psychique sur la base de ces perturbations.

Comme fréquemment le manque d'attention est la conséquence de stimuli distrayants ou d'une inadaptation à la tâche considérée, on ne peut attribuer chaque comportement inattentif à la fatigue. Si on analyse les activités d'observation, il faut donc établir une distinction entre une diminution de l'attention et un accroissement de la fatigue; seul ce dernier élément est d'importance pour la mesure de la fatigue au sens strict.

Les premières recherches systématiques proviennent du cercle des disciples de KRAEPELIN. C'est ainsi par exemple que BETTMANN (6), AMBERG (2) ainsi que RIVERS et KRAEPELIN (70) ont déjà noté qu'au fur et à mesure que la durée des activités augmente, l'attention des personnes testées régresse et par conséquent le nombre d'erreurs, lors de performances mentales simples, augmente. VON VOSS (93) trouve comme particulièrement caractéristique d'une diminution de l'attention le fait que dans l'état de fatigue, les périodes de résolution de tâches d'addition simples sont d'une durée plus variable, en raison des fluctuations de la régulation de l'attention, et que lorsque la période de calcul augmente, les temps d'addition supérieurs à la moyenne se multiplient également. Ce symptôme désigné par le terme de blocage a été analysé quantitativement par BILLS (7). Il entend par là les phases d'incapacité de réaction apparaissant avec une certaine régularité au cours d'un effort psychique, pendant lesquelles l'homme est incapable, même au prix de grands efforts, de discerner avant un certain temps, un contenu mental déterminé. Au cours de diverses séries d'essais, BILLS a étudié, en enregistrant du point de vue temporel la présentation du stimulus et la réaction, l'apparition de blocages et leur régularité. Il a découvert que les blocages se succèdent d'une manière presque rythmique et qu'ils s'accompagnent très fréquemment d'erreurs. En outre, lorsque la durée de sollicitation augmente, la fréquence et la longueur des blocages s'accroissent également et, en même temps, les activités de réaction deviennent plus irrégulières (fig.4). Les blocages n'ayant pas lieu après chaque réaction, on suppose que ces phénomènes indiquent des renoncements périodiques de mécanismes centraux d'intégration.

En particulier, le symptôme de baisse d'attention caractérisé

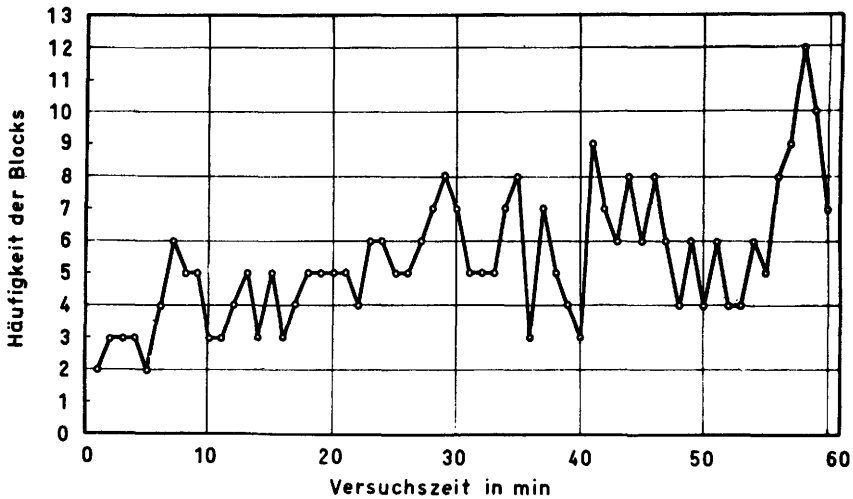


Figure 4

Relations entre la durée de sollicitation et l'apparition de blocages (d'après des valeurs établies par BILLS)

Häufigkeit der Blocks = Fréquence des blocages

Versuchszeit in Min. = Durée de l'expérience en min.

comme "blocage" joue un rôle dans certaines tâches d'observation dans lesquels l'objet observé n'est visible que pendant une brève période et dans lesquelles le sujet réagit donc différemment selon que son attention est en éveil ou non au moment considéré. C'est dans ce sens que vont les essais de travail de MACKWORTH avec le test de l'horloge (60) (Fig.5), de BROADBENT (14,15) et TAYLOR (27) avec le test d'observation d'instruments, ainsi que de SCHMIDTKE (79) avec le simulateur radar (Fig. 6), lesquels conduisent tous au même résultat : au fur et à mesure que la durée de sollicitation augmente, le niveau de tension des régulateurs de l'attention et de la concentration accuse des fluctuations de plus en plus grandes et on constate un nombre croissant de périodes au cours desquelles l'attention diminue considérablement.

Les recherches d'ADAMS (1) ont également indiqué une relation entre l'efficacité de l'observation et l'intensité ainsi que la durée du stimulus. La diminution de l'attention était d'autant plus forte que l'intensité du stimulus était plus faible et que la durée de son action était plus courte.

Du point de vue pratique, il semble que la fréquence du stimulus ait une importance plus grande. Des recherches de DEESE (20) et de SCHMIDTKE et MICKO (84), on peut déduire que la baisse de rendement lors de tâches d'observation est d'autant plus marquée que l'observateur est soumis à moins de stimuli par unité de temps (Fig.7).

A la suite des recherches de MACKWORTH selon lequel des activités d'observation et des activités motrices conduisent, dans des conditions pauvres en stimuli, à une baisse d'attention, KIDD et MICOCCI (47) ont examiné si cette baisse d'attention pouvait être évitée par un accroissement de la complexité du signal. Les résultats ont montré que lorsque la complexité des stimuli augmente, on ne peut obtenir aucune amélioration de la performance.

Une méthode de recherche qui embrasse essentiellement les modifications de l'attention dans le temps a été utilisée par GARVEY, TAYLOR et NEWLIN (27). Leurs sujets d'expérience avaient pour tâche de

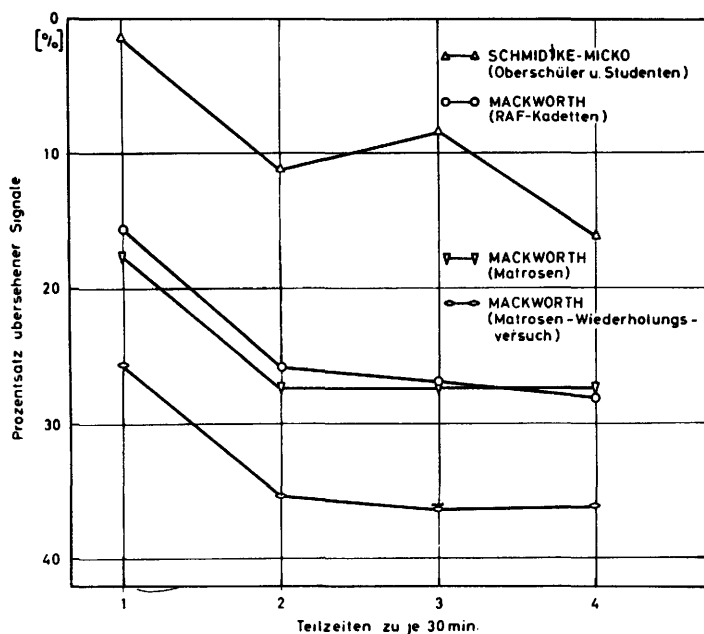


Figure 5

Variations de la performance d'un individu soumis au test de cadrans lors d'une période d'observation de deux heures (d'après MACKWORTH ainsi que SCHMIDTKE et MICKO)

Prozentsatz Übersehener Signale = Pourcentage de signaux non perçus

SCHMIDTKE-MICKO (Oberschüler u. Studenten) = SCHMIDTKE-MICKO (Etudiants)

MACKWORTH (RAF-Kadetten) = MACKWORTH (Cadets de la RAF) MACKWORTH (Matrosen) = MACKWORTH (Matelots)

MACKWORTH (Matrosen - Wiederholungsversuch) = MACKWORTH (Essai de contrôle sur des matelots)

Teilzeiten zu je 30 Min. = Temps partiel (30 min. chacun)

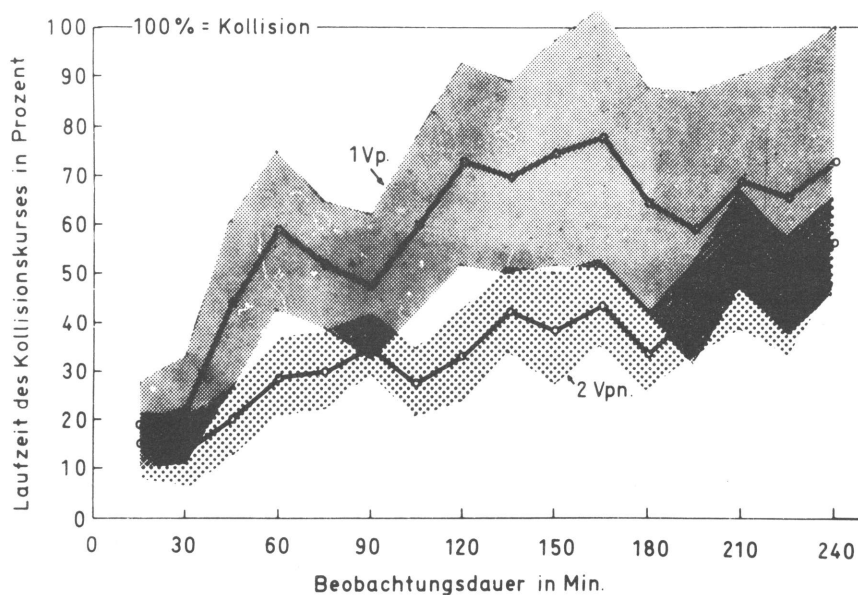


Figure 6

Incidence de la durée d'observation sur la reconnaissance de trajets conduisant à une collision, dans des essais individuels et de groupe

100 % = Kollision = 100 % = Collision

Laufzeit des Kollisionskurses in Prozent = Durée du trajet de collision en %

Beobachtungsdauer in Min. = Temps d'observation en min.

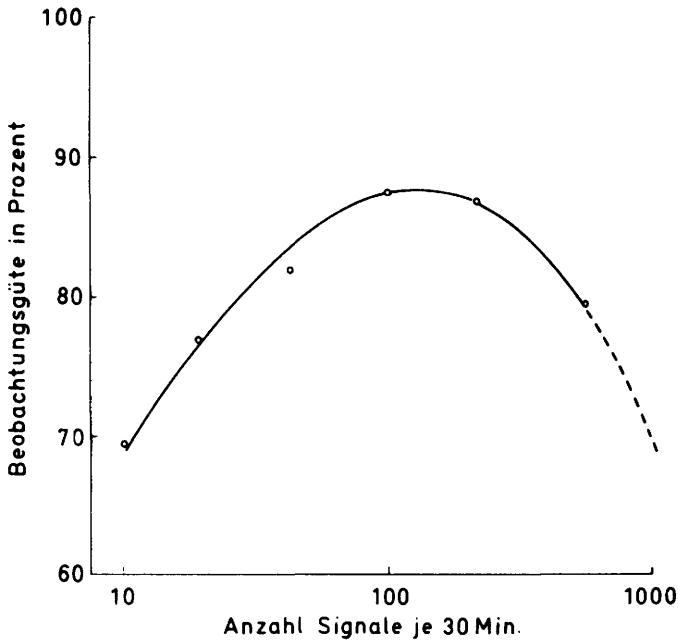


Figure 7

Incidence de la fréquence des signaux sur la qualité de l'observation (d'après SCHMIDTKE et MICKO)

Beobachtungsgüte in Prozent = Qualité de l'observation en %

Anzahl Signale je 30 Min. = Nombre de signaux par 30 min.

contrôler huit instruments à cadran et de signaler par un contacteur les déviations prévisibles des différents instruments lorsque l'aiguille oscillait vers une zone déterminée du cadran. Si, 30 s après la déviation, la personne n'avait pas réagi, l'aiguille se remettait automatiquement à sa position antérieure. De l'accroissement considérable d'erreurs après 30 mn d'essai, on peut conclure que lorsque la variabilité des phénomènes observés s'accroît on constate, selon les caractéristiques individuelles, une limitation à des contenus d'observation toujours moins nombreux ou une diminution du degré de tension psychique, lesquels doivent probablement être interprétés comme des répercussions d'une fatigue centrale.

Une tentative de tirer du rendement lui-même des conclusions quant à la fatigue a été entreprise par PLATT (68) lors d'un essai avec des conducteurs de camions. En enregistrant, d'une manière continue, les mouvements du volant, la variation de la vitesse par unité de temps et la fréquence de l'usage de l'accélérateur et de la pédale de frein, il voulait trouver un indice du rendement en matière de pilotage. Deux facteurs ont été mis en évidence : le facteur "contrôle de la piste" et le facteur "contrôle de la vitesse". Les variations de ces facteurs au cours du trajet permettent de conclure à une diminution, conditionnée par la fatigue, du rendement des conducteurs, laquelle peut être interprétée à titre primaire comme une baisse de la concentration.

Quant à SCHMIDTKE (80) et BABADSCHAJAN e.a. (3), ils ont prouvé que la fatigue avait une incidence sur la durée de réaction en cas de possibilités de choix multiples. Il en résulte que les modifications du temps de réaction vont dans le sens d'un allongement lorsque le contenu de la charge pose des exigences particulières aux fonctions centrales d'intégration (Tabl.1). Il va de soi que cet allongement est d'autant plus accentué que la méthode de mesure présuppose des processus intégrateurs de traitement des stimuli (essais de réaction élective par opposition à des essais de réaction simple). Si ces fonctions ont été peu sollicitées par la charge de travail, la mesure du temps de réaction ne permet de tirer aucune conclusion. Il en résulte que la durée de réaction ne constitue pas un indicateur unilatéral de la fatigue psychique, même si ses fluctuations peuvent avoir une signification symptomatique. Une constance approximative de la durée simple

Tableau 1

Prolongation du temps de latence et de réaction de conducteurs
de train à la suite d'une période de service de 12 heures
(conversion d'après BABADSCHAJAN e. a.)

Personnes faisant l'ob- jet de l'ex- périence	Temps de latence		Temps de réaction	
	avant le service	après le service	avant le service	après le service
S-n	0,188 sec	0,289 sec	0,311 sec	0,682 sec
K-ow	0,108 sec	0,350 sec	0,250 sec	0,648 sec
M-jnk	0,134 sec	0,148 sec	0,362 sec	0,503 sec

de réaction ne permet pas de conclure qu'il n'y a pas eu une charge entraînant une certaine fatigue (Fig.8).

Parmi les tests de concentration utilisés dans la recherche sur la fatigue, citons notamment la méthode de combinaison de ERBINGHAUS, la méthode fondée sur la mémoire, proposée par TELJATNIK et ERBINGHAUS, et le test de biffage utilisé par OEHREN et ultérieurement par BOURDON. Les deux premières méthodes se sont révélées peu valides dès le stade des essais en laboratoire. Le test de BOURDON a été utilisé plus fréquemment. Mais il présente également une caractéristique commune à tous les tests de concentration : lorsqu'il est utilisé pendant une période assez longue, il exerce lui-même une action fatigante et ne permet donc plus de tirer des conclusions quant à la fatigue due au travail; lorsqu'il est utilisé pendant une brève période, il reste si imprécis que si on néglige le contrôle statistique, ses résultats ne sont guère valables.

L'idée de mesurer l'ampleur de la sollicitation psychique lors d'un travail en essayant de voir dans quelle mesure une autre tâche simple peut être effectuée en sus de ce travail, a été mise en pratique par BORNEMANN (9). Son principe consistait à dicter aux personnes testées occupées à un travail régulier des tâches de calcul mental qu'elles devaient résoudre et exposer en sus de leurs autres travaux. Le nombre des tâches résolues correctement permettait alors de tirer des conclusions sur l'intensité de la sollicitation mentale par le travail régulier. Lors de ses essais, BORNEMANN a trouvé qu'il était possible d'établir une échelle des différentes sollicitations en fonction des activités professionnelles exercées. Il faut toutefois admettre que les valeurs indiquées par lui pour caractériser la sollicitation par les différentes activités caractérisent moins la charge psychique que le degré de prise de conscience d'une activité et que par ce moyen, c'est plutôt l'"affinité" des différentes activités principales avec l'activité mesurée de calcul mental qui est définie que l'intensité véritable de la charge psychique. Dans ce sens toutefois, on ne peut attendre de cette méthode des résultats essentiels pour la recherche comparative sur la fatigue, même si les résultats

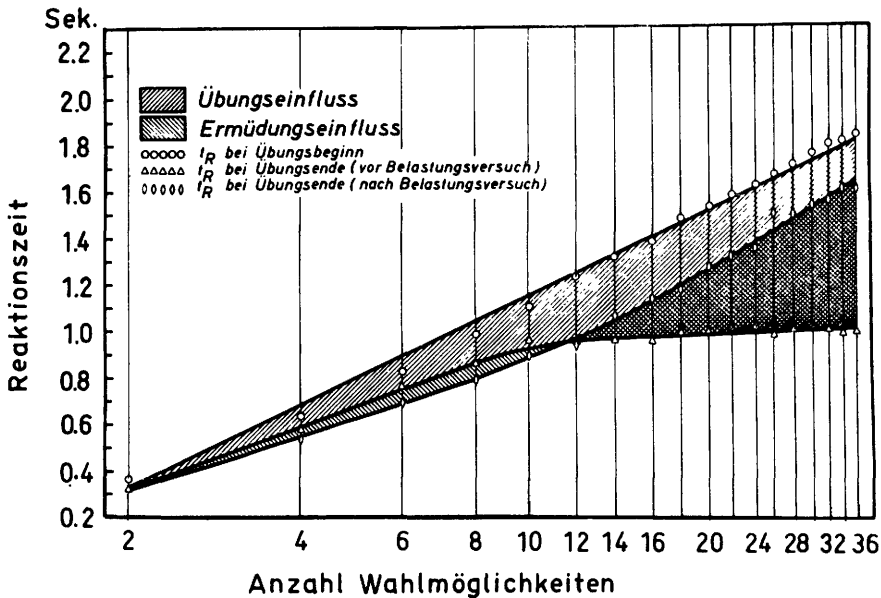


Figure 8

Incidence de l'exercice et de la fatigue sur un processus de réaction élective (d'après SCHMIDTKE)

Reaktionszeit = Temps de réaction Übungseinfluss = Influence de l'exercice

Ermüdungseinfluss = Influence de la fatigue

t_R bei Übungsbeginn = t_R au début de l'exercice

t_R bei Übungsende (vor Belastungsversuch) = t_R à la fin de l'exercice (avant l'essai de charge)

t_R bei Übungsende (nach Belastungsversuch) = t_R à la fin de l'exercice (après l'essai de charge)

Anzahl Wahlmöglichkeiten = Nombre de possibilités de choisir

obtenus peuvent être utilisés avantageusement pour des travaux de recherche de psychologie générale.

Une voie semblable à celle de BORNEMANN a été suivie par KALS-BEEK (43), lequel a tenté de mesurer le degré de charge psychique en se fondant sur la détérioration progressive qu'accuse une performance comportementale complexe, lorsque la charge mentale de la personne testée est accrue par une activité subsidiaire à laquelle elle doit accorder priorité. On peut qualifier cette méthode de recours à une "distraction expérimentale".

La tâche primaire consiste à pousser sur différentes pédales pour répondre à des stimuli acoustiques. A côté de cela, la personne testée est chargée d'une tâche secondaire qui consiste à écrire tout ce qui lui passe par la tête. La dégradation de l'écriture et de la signification lorsqu'on augmente la charge résultant de la tâche primaire indique très clairement le degré de sollicitation imputable à cette dernière. Ce n'est que lorsque la personne testée n'est plus en mesure d'écrire des lettres qu'on se trouve en présence d'une saturation complète par la tâche primaire. Par cette méthode, on peut, en effectuant des comparaisons d'écriture, définir l'intensité véritable de la charge psychique, même si toute quantification se heurte à des difficultés.

En utilisant une méthode différente, KALSBECK (44) a effectué une autre série d'essais au cours de laquelle la tâche secondaire consistait à enfoncer des bâtonnets dans des trous. Afin de pouvoir mesurer l'incidence de la tâche primaire sur la tâche secondaire, il a fait varier au plan du mouvement, de l'agencement et du choix, les conditions d'exécution de la tâche secondaire. S'il agissait uniquement sur une ou deux conditions, l'influence sur la tâche primaire ne se traduisait que par un ralentissement de l'exécution; s'il faisait varier les trois conditions, la personne testée faisait des erreurs.

Les observations effectuées lors de ces essais ont donné à penser que l'aptitude à effectuer simultanément deux tâches pouvait consister à apprendre à envoyer des informations de caractère changeant par un seul canal central de sortie de telle manière que soient utilisées des périodes de mouvements concurrents des mains et des pieds

au cours desquelles ceux-ci ne sont précisément pas "dirigés". Dans la mesure toutefois où la tâche subsidiaire demandait un choix, il ne semblait pas possible de réaliser un dispositif expérimental correspondant à un tel modèle constant et intégré de décision.

4) Méthodes de mesure des troubles de la pensée

Par troubles de la pensée, il y a lieu d'entendre en l'espèce des troubles du processus d'association sous l'influence de tendances déterminées, des troubles de la formation des notions et des troubles de la reproduction de souvenirs. Dans le cadre de la recherche sur la fatigue, les premières observations systématiques de telles perturbations ont été effectuées par le groupe de travail de KRAEPELIN. Comme résultats de ses recherches considérables, il est apparu que dans l'état de fatigue, les processus ordonnant les activités associatives perdent en efficacité et par conséquent, la production d'associations et de contenus de représentation s'effectue d'une manière irrégulière et variable.

D'une analyse effectuée par SCHMIDTKE (80) sur la vitesse de frappe de dactylos qualifiées, il ressort non seulement qu'une période de charge intensive de quatre heures augmente la fréquence absolue de fautes de frappe, mais aussi qu'après une telle période de charge, il faut beaucoup plus longtemps au sujet pour prendre conscience de la teneur d'une frappe fautive. Le processus de prise de conscience d'une erreur dans l'état de fatigue dure deux à trois fois aussi longtemps que dans l'état de fraîcheur.

Une première approche quantitative du problème des troubles de la pensée conditionnée par la fatigue réside dans une recherche de SCHMIDTKE, lequel a tenté, en effectuant des essais de charge au moyen du test de performance en matière de concentration (KLT) mis au point par DUEKER (22), de déterminer le besoin en temps de récupération compensant l'effet de la fatigue, en fonction de la durée de périodes de calcul ininterrompu et de l'intensité de rendement exigée (81). Si on se fonde sur l'hypothèse que le surplus de récupération découvert constitue une expression adéquate du temps de pause nécessaire pour éliminer les troubles de la pensée conditionnés par la

fatigue, il est permis de voir dans ces résultats une preuve du fait que le niveau d'exigence comme la durée de la sollicitation se répercute d'une manière exponentielle sur la fatigue psychique (Fig. 9). De toute manière, il devient clair ici que la fréquence des processus de pensée requis par unité de temps comme la durée totale de sollicitation "ininterrompue" ont une influence persistante sur la capacité de rendement du système nerveux central. Des temps de pause croissants ou des suppléments de récupération indiquent que lorsque la pensée est sollicitée d'une manière plus intense et pendant une période plus longue, les différents processus se déroulent plus lentement et d'une manière moins exacte.

L'incapacité croissante d'avoir une vue d'ensemble de complexes relativement grands de faits et de signifiants peut également être considérée comme un trouble du processus ordonné de pensée. De nombreuses observations pratiques et des observations de soi-même lors de conférences et de réunions, ainsi que les résultats des recherches modernes sur l'état de stress confirment l'interprétation de ce trouble comme symptôme de fatigue, même si des recherches expérimentales font encore défaut.

5) Méthodes de mesure des troubles des fonctions motrices et directrices de la personnalité

Tandis que dans les syndromes de fatigue traités jusqu'ici, on a caractérisé des troubles pouvant survenir et ayant été observés dans diverses zones fonctionnelles, nous devons pour terminer examiner également les troubles affectant les fonctions motrices et directrices centrales. Tout acte humain motivé, qu'il soit du type perceptif primaire, moteur ou intellectuel, exige pour son accomplissement une certaine dose d'intérêt volontaire et par conséquent d'activité psychique.

Ces troubles des instances directrices centrales conditionnés par la fatigue et désignés, par exemple, par GRAF et BORNEMANN par le terme d'"aboulie", ne se répercutent toutefois pas dans la sphère de réalisation d'exigences externes en matière de rendement mais peuvent aussi être observés dans le comportement de l'homme. C'est particulièrement dans l'état de fatigue intense qu'apparaissent, outre une

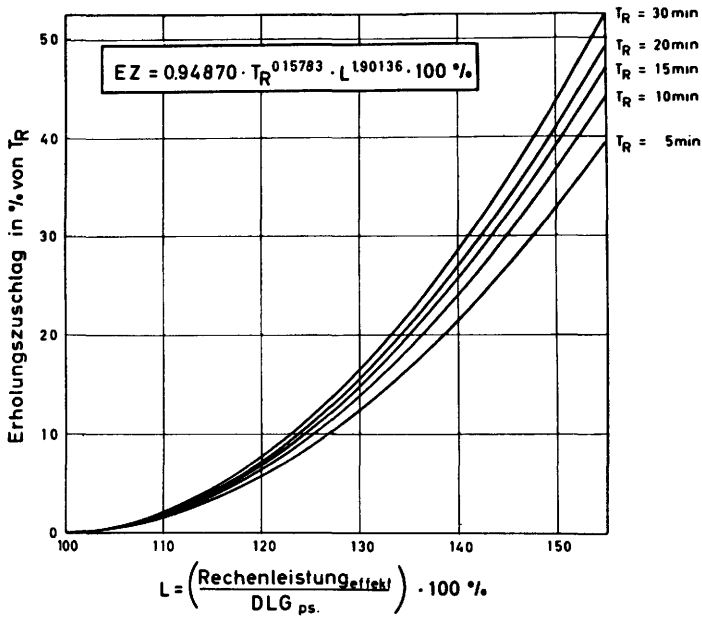


Figure 9

Suppléments de récupération nécessaires dans les opérations de calcul mental, en fonction du rendement du calculateur et de la durée des périodes de calcul ininterrompues (d'après SCHMIDTKE)

Erholungszuschlag in % von T_R = Supplément de récupération en % de T_R

$$L = \left(\frac{\text{Rechenleistung effekt.}}{\text{DLG ps.}} \right) \cdot 100 \% = L = \left(\frac{\text{Perf. eff. du calc.}}{\text{DLG ps}} \right) \cdot 100 \%$$

certaine indifférence à l'égard de ses propres fautes, des carences dans l'attitude et le comportement qui présentent de nombreuses similitudes avec les phénomènes hypomaniaques expansifs et les phénomènes de désinhibition progressive chez des individus ayant absorbé une assez grande quantité d'alcool.

Si on se fonde sur des troubles du système nerveux central conditionnés par la fatigue, on comprend la formation d'un type spécifique de fatigue pouvant être désigné par le terme de "fatigue motrice". Rappelons que pour accomplir des actions ordonnées, il faut une certaine dose d'intérêt volontaire. L'importance de cette dose est fonction également, outre du degré de complexité de la tâche et des capacités et facilités individuelles, de l'importance des impulsions liées à l'accomplissement de la tâche ou résultant de l'exploitation de celle-ci. Si ces incitations et impulsions facilitant la tension volontaire sont intenses, seul un faible effort volontaire est suffisant pour garantir le niveau d'activité psychique nécessaire pour l'accomplissement de l'action. Si toutefois elles font largement défaut, comme tel est fréquemment le cas dans le cadre de phénomènes naissant de monotonie et de saturation, le maintien d'un niveau d'activité approprié à la tâche doit être provoqué dans une mesure d'autant plus grande par des impulsions volontaires. Il est manifeste toutefois que la capacité des composantes motrices provenant des couches les plus profondes de la structure de la personnalité et soutenant la tension volontaire est fortement limitée, de telle sorte qu'il se produit fréquemment, même après une brève durée de sollicitation, des troubles moteurs qui, après une compensation rationnelle et volontaire provisoire, finissent par conduire à une diminution du rendement externe.

Les méthodes d'approche pour mesurer ces troubles, qui s'écartent complètement de la représentation des modifications fonctionnelles dans l'état de fatigue et considèrent exclusivement les modifications motrices en relation avec l'exécution d'une activité, peuvent donc être considérées comme méthodes relevant de la psychologie de la motivation. Elles négligent les problèmes de la consommation d'énergies psychiques et des modifications fonctionnelles et sont axées sur les stimulations qui se manifestent à l'arrière plan des fonctions psychiques. Comme composantes des variables motrices, on peut citer

notamment le degré d'engagement de la volonté, le niveau d'activité psychique général, la disposition au rendement et l'état d'esprit. La possibilité d'obtenir, par l'étude de certaines composantes motrices, un accès au problème de la fatigue pourra être retenue ou non dans la mesure où les composantes motrices pourront être définies unilatéralement et où les mesures motrices ou indices de motivation découverts varieront en fonction du comportement observé au travail.

La première tentative marquante en vue de définir le rapport entre la structure motrice d'un individu et son rendement ou son comportement au travail a été entreprise par le groupe de travail de Mc CLELLAND (62). La méthode d'essai consistait à présenter aux sujets examinés des images TAT ou des représentations semblables, pour lesquelles ils devaient, sous la pression du temps, imaginer de brèves descriptions d'action. Ces dernières étaient analysées quant à leur contenu selon une clé d'exploitation, tant du point de vue de facteurs exprimant un critère de qualité ou de valeur que du point de vue d'états affectifs connexes (caractérisés par le succès, l'échec). Enfin, on a également examiné dans quelle mesure les descriptions donnent des indications sur des actes mécaniques et des obstacles à la performance. Au moyen de ces catégories générales d'appréciation, on a établi à l'aide des résultats individuels, un indice de motivation au rendement.

Or, les recherches de Mc CLELLAND n'étaient pas axées sur un diagnostic de la fatigue. Il reste donc douteux qu'il soit possible, à l'aide d'un tel procédé, d'émettre des affirmations sur la disposition au rendement subsistant après une certaine activité, d'autant plus que Mc CLELLAND lui-même fait état du caractère relatif de la constance des motivations individuelles au rendement. Les résultats des recherches de WENDT (96) indiquent en effet qu'au cours d'une activité de plusieurs heures, il survient dans la structure motrice des modifications qui correspondent au résultat du travail dans la deuxième période d'essai.

Contrairement à Mc CLELLAND, WENDT a utilisé un procédé considérablement simplifié. Il a exigé des sujets examinés une appréciation graphique de leur situation momentanée et une appréciation de la

situation présumée d'une autre personne, anonyme, ayant exécuté la même activité pendant aussi longtemps.

D'après les résultats de WENDT, l'appréciation de la situation propre - du propre niveau moteur - n'a aucune valeur indicative en ce qui concerne les performances futures (au cours de la deuxième moitié de l'essai), tandis que les impulsions positives projetées dans d'autres personnes présentent une corrélation avec les performances ultérieures propres des sujets examinés. Cet essai confirme qu'une projection des impulsions est possible et que l'impulsion projetée, après une certaine activité, est en relation avec le niveau de performance ultérieure. Il ne semble donc pas exclu qu'il soit possible, sur cette base, de mettre au point des méthodes pouvant avoir une valeur d'indicateur sur la disposition au rendement. En effet, de telles méthodes ne mesureraient pas le degré de fatigue mais l'incidence d'une activité définie sur la structure motrice individuelle et sur le comportement futur au travail.

En conformité avec le procédé de WENDT, BARTENWERFER (5) a utilisé un questionnaire, étendu à neuf paires d'oppositions en vue de l'appréciation graphique de soi-même et des tiers.

D'après ce procédé, l'appréciation sur les tiers présente une relation plus manifeste avec la nature et l'intensité de la charge que l'appréciation de la situation propre. Il est vrai qu'on a trouvé, contrairement à WENDT qui n'accorde à l'appréciation de la situation personnelle aucune valeur indicative en ce qui concerne les performances futures, que si on établit une comparaison entre des efforts essentiellement corporels et des efforts essentiellement psychiques au moyen de paires d'oppositions, on trouve, même pour l'appréciation de soi, des différences qui sont confirmées par la statistique. Cette différence est interprétée par BARTENWERFER par le fait que probablement, il ne faut voir dans l'appréciation de tiers qu'une forme spéciale de l'appréciation de soi. Cette constatation confirme par ailleurs l'hypothèse de WENDT selon laquelle une projection d'impulsions ou de niveaux de stimulation est possible.

Des recherches assez récentes de SCHMIDTKE et HOFFMANN (83) font toutefois apparaître cette approche méthodique dans une lumière

quelque peu différente. En l'espèce, on n'a constaté lors d'un effort psychique aucune différence sûre entre les coefficients d'auto-appréciation et d'appréciation de tiers, une tendance opposée aux résultats de WENDT étant même apparue. Contrairement à l'hypothèse de WENDT, on a constaté en outre lors de ces essais que les relations entre l'appréciation de la charge et les performances tant au cours de la première que de la seconde période d'essai ne se distinguaient pas l'une de l'autre d'une manière significative. Il faut en conclure que l'intensification probable de la fatigue au cours de la deuxième moitié d'un essai astreignant de lecture différenciée n'apparaît pas dans les relations entre l'appréciation de la charge et la performance.

Une autre approche fondée également sur des méthodes de psychologie projective est fournie par VON BRACKEN (13). Au cours de ses essais, des groupes d'apprentis d'usines métallurgiques et des étudiants ont été soumis au test de Rorschach ou au test de Behn-Rorschach, les premiers avant et après le poste journalier, les seconds avant et après un test de Pauli d'une durée de trois heures. L'exploitation des résultats a donné des indications tendant à montrer que le test de Rorschach n'embrasse nullement d'une manière exclusive les constantes de la structure de la personnalité mais qu'il existe, dans la composition des réponses avant et après les périodes de charge, des variations qui concordent tout à fait avec les symptômes de fatigue déjà décrits antérieurement. Des indications sur les troubles de la pensée ont été fournies approximativement par des constatations telles que celles-ci : l'originalité et la discipline de la pensée avaient baissé, les symptômes d'une certaine pesanteur et d'un certain pédantisme dans la pensée se multipliaient, accompagnés d'une diminution de la capacité de concentration.

Bien que les résultats de recherches effectuées jusqu'ici sur la base de la psychologie de la motivation soient encore fort modestes, cette méthode psychologique ouvre toutefois un vaste horizon pour des recherches futures. Elle deviendra donc importante pour l'étude des facteurs ayant une incidence sur le rendement lors d'activités qui exigent une tension psychique continuelle, sans que le travail lui-même ne fournisse une quantité de stimulations digne d'être mentionnée.

6) Méthodes de mesure des troubles des relations sociales

Il est manifeste que la fatigue a des répercussions dans le sens d'un relâchement de l'harmonie de la personnalité et d'une diminution de la capacité directrice et régulatrice du comportement. Il va de soi que de telles modifications structurelles ont tout particulièrement une incidence sur les composantes sociales de la vie humaine et y sont même parfois la cause de difficultés. Tout individu dispose, par l'introspection et l'observation des autres, d'une riche gamme d'expériences sur la manière dont les relations humaines se modifient dans l'état de fatigue, comparativement à ce qu'elles sont à l'état de repos.

En raison notamment de la complexité de ces troubles, on ne dispose encore jusqu'ici d'aucune observations systématique répondant à des impératifs de contrôle et à des exigences scientifiques, car il paraît difficile - comme on l'imagine aisément - de mettre au point une méthode de mesure appropriée. On peut cependant constater, dans le cadre de la mesure d'autres syndromes de fatigue, que des troubles de cette nature se produisent, en quelque sorte à titre subsidiaire. Un défaut de discipline, des tendances agressives, des troubles de la vie sentimentale, comme par exemple des dépressions, des inhibitions affectives ainsi que des tendances éventuelles à l'appauvrissement des sentiments, montrent que la fatigue porte atteinte à la stabilité émotionnelle de l'homme. Il n'est certainement pas erroné d'admettre que de nombreux conflits doivent être attribués à de tels types de comportement improprement affectifs ou indisciplinés. Une prophylaxie bien conçue de la fatigue pourrait ainsi, non seulement favoriser la capacité de rendement individuelle mais en même temps contribuer à éliminer des relations humaines certaines tensions superflues.

V - RESULTATS DES ESSAIS DE MESURE

Lorsqu'après ce bref aperçu sur les différentes approches méthodiques de la "mesure de la fatigue", on se demande quels résultats

d'une portée générale ont été obtenus par les différents essais de mesure, il est malaisé de donner une réponse satisfaisante. Peut-être est-il opportun de fonder ses considérations sur les objectifs constituant les fondements des essais de mesure. Deux points semblent ici avoir une signification particulière.

L'un des fondements des essais de mesure de la fatigue psychique réside dans des considérations humanitaires ou psycho-hygiéniques. Les représentants de cette tendance avaient à coeur d'éviter un surmenage nuisible à la santé et de veiller à ce que les exigences de travail restent dans les limites des possibilités de rendement. L'autre fondement des essais répétés de mesures est essentiellement de nature économique et procède surtout des enseignements de la physiologie musculaire sur les répercussions, favorables pour le rendement, d'un agencement optimal du régime de travail et de récupération. On a reconnu que le rendement dans les activités particulièrement astreignantes du point de vue psychique effectuées dans l'industrie moderne ne pouvait, malgré le défaut d'une composante de charge physique digne de ce nom, être maintenu à un niveau satisfaisant que lorsque les sujets considérés jouissaient pendant la durée de leur travail journalier de pauses de récupération suffisantes.

Alors que la discussion du problème essentiellement psycho-hygiénique de la lutte contre le surmenage a pour objet d'établir une relation quantitative entre le degré de sollicitation et la nature, l'intensité et la durée de l'effort, afin d'en tirer des conclusions concernant les limites de la sollicitation, il s'agit, en matière de maintien du rendement, de diagnostiquer la fatigue actuelle ou de prévoir les possibilités futures de rendement. Pour résoudre ces deux problèmes, il y a lieu de connaître l'importance des facteurs inhérents au travail ayant une incidence sur le rendement humain, et par conséquent de disposer d'une méthode de mesure. Un test de la fatigue doit donc mesurer l'intensité de la fatigue ou déterminer les possibilités et les limites d'autres diminutions de rendement.

Or, la plupart des approches méthodiques se fondent

sur une considération fonctionnelle, de telle sorte qu'il n'est guère tenu compte des facteurs psychologiques conditionnant l'attitude devant le travail. WENDT (96) critique à juste titre que ces essais supposent optimaux et par conséquent invariables du point de vue méthodique l'état d'esprit actuel et l'engagement volontaire de la personne au travail. La négligence des variables motrices implique toutefois une source d'erreur qu'il est difficile d'apprécier et qu'il n'est guère possible d'éliminer. C'est ainsi que des modifications de la structure motrice peuvent avoir au cours d'une période de travail des répercussions plus fortes sur le niveau de performance que par exemple la fatigue de fonctions isolées. Les essais de mesures effectués pour déterminer la fatigue lors d'activités demandant particulièrement un effort psychique doivent donc conduire fort vraisemblablement à des résultats insuffisants ou même faux, aussi longtemps qu'au delà de la mesure de modifications fonctionnelles, on ne recherche pas un accès quantitatif au niveau moteur de l'individu.

Si on apprécie d'une manière critique les essais de mesure effectués jusqu'ici, il faut se demander en outre par rapport à quoi les diverses méthodes sont étalonnées. Comme aucun indicateur général et représentatif de la fatigue n'a été trouvé jusqu'ici et comme par conséquent l'étalonnage d'une méthode de mesure ne peut se faire par rapport à la "fatigue", chaque indicateur devant être étalonné par rapport à la variable à mesurer, il en résulte que la fatigue ne sera pas mesurable comme phénomène psycho-physique complexe aussi longtemps qu'une variable étalon nous fera défaut pour rendre la méthode valable. Cette conclusion rendrait absurdes tous les essais de mesure effectués jusqu'ici si elle n'avait, dans une large mesure, aucune incidence sur un deuxième aspect : le pronostic du rendement. S'il s'agit de faire des prévisions sur des performances futures, les méthodes de mesure doivent aussi être étalonnées rigoureusement par rapport aux performances ou au comportement au travail. Il faut s'assurer que l'indicateur présente effectivement une corrélation avec le rendement obtenu ou le comportement observé dans la situation spécifique. Or, si la découverte d'un indicateur approprié pour une situation de sollicitation spécifique ne constitue pas une tâche sans problème, elle n'est pas exclue d'un point de vue théorique.

Si nous examinons les méthodes susmentionnées sur la base de ce deuxième aspect de pronostic du rendement, nous trouvons que jusqu'ici, relativement peu nombreux sont les travaux au cours desquels la méthode de mesure a été étalonnée d'après la performance ou le comportement au travail et non d'après la durée de la sollicitation. On doit donc constater les limites de la valeur diagnostique ou pronostique de nombreuses recherches; en revanche, en ce qui concerne les travaux de recherche futurs, il existe des aspects positifs; aussi peut-on espérer que si on tient également compte du sujet dans les expériences sur la fatigue, on pourra glaner des informations tant sur les influences ayant une action inhibitrice que sur celles ayant une action stimulante sur le travail.

I. BIBLIOGRAPHIE (1ère PARTIE)

- (1) BAKER C.H. (1950). Attention to visual displays during a vigilance task. II - Maintaining the level of vigilance. Brit. Journ. of Psych., I, pp. 30-36.
- (2) BARRIERE A. (1965). - Aménagement ergonomique d'une timonerie de pousseur rhénan. Centre d'Etudes de Physiologie appliquée au Travail de Strasbourg.
- (3) BEISHON R.J. (1966). - Problems of task description in process control. (Texte de conférence) University of Aston in Birmingham.
- (4) BIRMINGHAM H.P. and TAYLOR F.V. (1954). - A design philosophy for man-machine control systems. Proc. Inst. Radio engineers, 42, 1748.
- (5) BUCKNER D.N. and Mc GRATH J.J. (1963). - Vigilance, a symposium New York, Mc Graw Hill.
- (6) CESA-BIANCHI M. et al (1966). - Recherche dans la sidérurgie italienne. Recherche Communautaire sur la sécurité dans la sidérurgie et dans les mines. Luxembourg, Publications de la Haute Autorité de la C.E.C.A. Doc. N° 8089/65 f.
- (7) CHAPANIS A., GARNER W.R., MORGAN C.T. (1949) - Applied Experimental Psychology. New York, Wiley.
- (8) CHAPANIS A. (1960). - Le facteur humain dans la construction des systèmes. In l'Automation, aspects psychologiques et sociaux. Louvain, Publications universitaires.
- (9) CHAPANIS A. and LOCKHEAD G.R. (1965). - A test of the effectiveness of sensor lines showing linkages between displays and controls. Human Factors, vol. 7, N°3, pp. 219-229.

- (10) CHAPANIS A. (1965). - Words, words, words. Human Factors, vol. 7 N°1 pp. 1-17.
- (11) CONRAD R. (1966). - Short term memory factor in the design of data entry keyboards : an interface between short term memory and S-R compatibility. JOURN. of Appl. Psych. 50, 5, pp. 353-356.
- (12) CROSSMANN E.R.F.W. (1960). - Automation and skill. Problems of progress in industry, N°9. London, H.M.S.O.
- (13) DEFOIN Y. (1966). - Recherche dans les mines de fer françaises (2ème partie). Recherche communautaire sur la sécurité dans les mines et la sidérurgie. Publication de la Haute Autorité de la C.E.C.A. Doc. N° 8085/65 f.
- (14) DUEKER M., MERZ F. et al. (1965). - Etudes expérimentales sur les tâches interrompues. In Rapport scientifique final concernant la partie de la recherche communautaire sur la sécurité menée dans la sidérurgie allemande. Publication de la Haute Autorité de la C.E.C.A., doc N° 4266/65 f.
- (15) EASTERBY R.S. (1966). Perceptual organisation in static displays for man-machine systems. Conference on the human operator in complex systems. 26-28 July 1966. University of Aston in Birmingham.
- (16) ELY J.H., THOMPSON R.M. and ORLANDSKY J. (1963). - Design of controls. In Human engineering guide to equipment design. New York, Mc Graw Hill.
- (17) FASSINA A. (1966). - Etude de la lecture et du dessin de schémas électroniques. Document ronéotypé, C.E.R.P., Paris.
- (18) FAVERGE J.M. (1965). - L'analyse du travail en termes de régulation. In Adaptation du travail à l'homme (chap. II, 2ème partie) Bruxelles, Office belge pour l'accroissement de la productivité.
- (19) FAVERGE J.M. et DELAHAUT J. (1965). - Phénomène de régulation au niveau de l'entreprise. In Adaptation du travail à l'homme. Office belge pour l'accroissement de la productivité.

- (20) FAVERGE J.M. et al. (1967). - L'ergonomie des processus industriels. Bruxelles, Ed. de l'Institut de Sociologie
- (21) FLESCH R. (1948). - A new readability yardstick. Journ. of Appl. Psych., 32, 3.
- (22) FOLLEY J. D. (1960). - Human Factors methods for system design. Rpt. AIR 290-60-FR-255. American Institute for Research. Pittsburgh Pa.
- (23) FRAISSE P. et ELKIN E.H. (1963). - Etude génétique de l'influence des modes de présentation d'objets familiers. Année Psych., 1. pp. 1-12.
- (24) FRAISSE P. (1964). - Le temps de réaction verbale. I - Dénomination et lecture. Année Psych., 1, pp. 21-46.
- (25) FRANKMANN J.P. and ADAMS J.A. (1962). - Theories of vigilance. Psych. Bull. 59, 4, pp. 257-272.
- (26) GAGNE R.M. (1962). - Human functions in systems. In : Psychological principles in system development. New York, Holt Rinehart and Winston, pp. 35-73.
- (27) GARNER W.D. (1962). - Uncertainty and structure as psychological concepts. New York, Wiley.
- (28) GERATHEWOHL S.J. (1956). - Conspicuity of flashing light signals of different frequency and duration. Journ. of Exp. Psych., 40 pp. 228-232.
- (29) GLASER R. (1965). - Training, research and education. New York, Wiley.
- (30) GUIRAUD P. (1966). - La sémantique. Paris, P.U.F.
- (31) HABER R.N. (1964). - Effect of coding strategy and perceptual memory. Journ. of Exp. Psych., 68, 4, pp. 357-362.
- (32) HERBST P.G. Etude des systèmes socio-techniques (document inédit)

- (33) HICKEY A.E. and BLAIR W.C. (1958). - Man as monitor. Human Factors, vol. 1, N^o 1, pp. 8-15.
- (34) HOWEL W.C., TATE J.D. (1966). - Influence of display, response and response set factors upon the storage of spatial information in complex displays. Journ. of Appl. Psych., 50, 1, pp. 73-80.
- (35) JONES M.R. (1962). - Color coding. Humans Factors, vol 4 N^o6, pp. 355-365.
- (36) JORDAN N. (1962). - Motivational problems in human-computer operations. Human Factors, vol. 4, N^o3, pp. 171-175.
- (37) KAUFMANN A. et DESBAZEILLE G. (1964). - La méthode du chemin critique. Paris, Dunod.
- (38) KIDD J.S. (1962). - A new look at system research and analysis. Human Factors, vol.4, N^o4, pp. 209-216.
- (39) KIDD J.S. (1962). - Human tasks and equipment design. In : Psychological principles in system development. New York, Holt Rinehart and Winston, pp. 159-164.
- (40) KLEMMER E.T. (1962). - Communication and human performance. Human Factors, vol. 4, N^o2, pp. 75-79.
- (41) KURKE M.I. (1957). - Evaluation of a display incorporating quantitative and check reading characteristics. Journ. of Appl. Psych., 41, pp. 257-262.
- (42) LEPLAT J. (1962). - Travaux de surveillance et d'inspection. Bull. du C.E.R.P. XI, pp. 155-175.
- (43) LEPLAT J. (1963). - L'enseignement automatisé. Bull. du C.E.R.P., XII, pp. 81-106.
- (44) LEPLAT J. (1965). - Quelques aspects psychologiques des travaux d'inspection. Publication ronéotypée, C.E.R.P., Paris.
- (45) LEPLAT J. (1965). - Codage et couplage des systèmes de signalisation et de commandes. Publication ronéotypée, C.E.R.P., Paris.

- (46) LEPLAT J. et BISSERET A. (1965). - Analyse des processus de traitement de l'information chez le contrôleur de la navigation aérienne. Bull. du C.E.R.P., XIV, 1-2, pp. 51-57.
- (47) LINCOLN R.S. and CAHILL H.E. (1965). - Detecting out-of-tolerance conditions with meter and digital displays. Human Factors, vol. 7, N°1, pp. 54-62.
- (48) Mc CORMICK E.J. (1957). - Human engineering. New York, Mc Graw Hill.
- (49) Mc LEAN M.V. (1965). - Brightness contrast, color contrast and legibility. Human Factors, vol. 7, N°6, pp. 521-526.
- (50) MILLER G.A. (1956). - The magical number seven, plus ou minus two : some limits on our capacity for processing information. Psych. Rev. 63, 2, pp. 81-97.
- (51) MILLER R.B. (1962). - Task description and analysis. In : Psychological principles in system development. New York, Holt Rinehart and Winston, pp. 187-228.
- (52) MONTMOLLIN M. de (1961). - Nouvelles perspectives dans l'étude du travail, Paris, Dunod.
- (53) MONTMOLLIN M. de (1967). - Les systèmes hommes-machines. Paris, P.U.F.
- (54) MORGAN C.T. and LUND M.V. (1963). - The man-machine system. In : Human engineering guide to equipment design. New York, Mc Graw Hill.
- (55) MURRELL K.F.H. (1965). - Ergonomics. Man in his working environment. London, Chapman and Hall.
- (56) NASLIN P. (1958). - Technologie et calcul pratique des systèmes asservis. Paris, Dunod.
- (57) NASLIN P. (1963). - Calcul symbolique et diagrammes de fluence, Paris, Dunod.
- (58) NAVILLE P. (1961). - L'automatisme et le travail humain. Paris, C.N.R.S.

- (59) OCHANINE D.A. (1966). - The operative image of a controlled object in "man-automatic machine" systems. XVIIIe Congrès international de psychologie, Symposium 26, Moscou, pp. 48-56.
- (60) PETERSON J.R. (1965). - Response-response compatibility effects in a two-hand pointing task. Human Factors, vol. 7, N°3, pp. 231-236.
- (61) PIAGET J., BRUNER J.S., BRESSON F., MORF A. (1958). - Logique et perception. Paris, P.U.F.
- (62) PIAGET J. et INHELDER B. (1963). - Les images mentales. Traité de psychologie expérimentale, VII, pp. 65-108. Paris, P.U.F.
- (63) PIERON H. (1951). - Vocabulaire de la psychologie. Paris, P.U.F.
- (64) POPESCU-NEVEANU E., IOSIF G.H., ENE F. (1964). - L'étude du processus de réception des schémas figuratifs et symboliques utilisés au tableau de commande. Revue Roumaine des Sciences Sociales, 8,1.
- (65) POWERS W.P., CLARK R.K., Mc FARLAND R.L. (1960). - A general feed back theory of human behaviour. Perceptuals and Motor Skills.
- (66) PRIETO L.J. (1966). - Messages et signaux. Paris, P.U.F.
- (67) RAOULT J.C. (1962). - Etude de l'opérateur humain en tant qu'élément de système asservi. Thèse non publiée.
- (68) ROSENTHIEL P. et GHOUILA-HOURI A. (1960). - Les choix économiques et les décisions séquentielles et simulation. Paris, Dunod.
- (69) RYAN J.A. and SCHWARTZ C. (1956). - Speed of perception as a function of mode of representation. Amer. Journ. of Psych. vol. 69, pp. 60-69.
- (70) SHAKEL B. (1962). - Ergonomics in the design of a large digital computer console. Ergonomics, 5, pp. 229-241.

- (71) SHEPARD R.N., SHEENAN M.M. (1961). - Immediate recall of numbers containing a familiar prefix or postfix. Percept. and Mot. Skills, 21, pp. 263-273.
- (72) SINCLAIR I.A.C. and others (1965). - Ergonomics study of LD waste heat boiler control room. BISRA, report OR/HF/18/63.
- (73) SPERANDIO J.C. (1966). - Etude de quelques opérations de coordination entre secteurs de contrôle au CCR/Nord d'Orly. C.O. 6609 R 13, C.E.R.P.
- (74) THORPE C.E. and ROWLAND G.E. (1965). - The effect of "natural" grouping of numerals on short term memory. Human Factors, vol. 7, N°1, pp. 38-44.
- (75) VURPILOT E., BRAULT H. (1959). - Formation des schèmes empiriques. Année Psych. 2, pp. 381-394.
- (76) WELFORD A.T. (1960). - Ergonomics of automation. Problems of progress in industry. N°8, London, H.M.S.O.
- (77) WILLIAMS L.G. and BOROW M.S. (1963). - The effect of rate and direction of display movement upon visual search. Human Factors, vol. 5, N°2, pp. 139-146.
- (78) WULFF J.J. and BERRY P.C. (1962). - Aids to job performance. In: Psychological principles in system development. New York, Holt Rinehart and Winston, pp. 273-299.
- (79) YNTEMA D.B. (1963). - Keeping track of several things at once. Human Factors, vol. 5, N°1, pp. 7-17.
- (80) ZINTCHENKO P. (1966). - Quelques problèmes de psychologie de la mémoire. In : Recherches psychologiques en U.R.S.S. Moscou, Ed. du Progrès.

II. BIBLIOGRAPHIE (2ème PARTIE)

- (1) ADAMS A.J. - Vigilance in the detection of low-intensity stimuli. J.Exp. Psychol. 52 (1956) 204.
- (2) AMBERG E. - Ueber den Einfluss von Arbeitspausen auf die geistige Leistungsfähigkeit. Psychol. Arbeiten 1 (1896) 300.
- (3) BABADSCHANJAN M.G., W.N. SOKOLOWA, J.I. KOSTINA, M.I. MAMAZASCHWILI und W.J. TSCHIRKOW. - Isutschenije pritschin utomljajemosti pojesdnuch dispetscherow. In : LETAWETA, A.A. und S.A. KOSILOWA : Materialü k fisiologitscheskomu obosnowaniju trudowuch prozessow. Moskau, Medgis 1960, S. 154.
- (4) BARTENWERFER H. - Ueber die Auswirkungen einförmiger Arbeitsvorgänge; Untersuchungen zum Monotonieproblem. Marburger Sitzungsber. 80 (1957).
- (5) BARTENWERFER H. - Beiträge zum Problem der psychischen Beanspruchung. Forschungsbericht Nr. 808 des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln-Opladen 1960.
- (6) BETTMANN S. - Ueber die Beeinflussung einfacher psychischer Vorgänge durch körperliche und geistige Arbeit. Psychol. Arbeiten 1 (1896) 152.
- (7) BILLS A.G. - Blocking : a new principle of mental fatigue. Am. J. Psychol. 42 (1931) 230.
- (8) BINET A. und V. HENRI. - La fatigue intellectuelle, Paris 1898.
- (9) BORNEMANN E. - Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung. Arbeitsphysiol. 12 (1942) 142.
- (10) BORNEMANN E. - Psychologie der Ermüdung. Psychol. und Praxis 1 (1956/57) 57.
- (11) BRACKEN H. VON. - Ermüdungsforschung und Erziehungswissenschaft. Bildung und Erziehung 4 (1951) 348.

- (12) BRACKEN H. VON. - Zur Psychopathologie der Ermüdung. In :
BORNEMANN E. : Ermüdung. Lüneburg 1952.
- (13) BRACKEN H. VON. - Rorschach-Untersuchungen vor und nach Arbeits-
belastung. Proceedings 15. Int. Congr. Psychology
Brüssel 1957. Amsterdam 1959, S. 491.
- (14) BROADBENT D.E. - The twenty dials test under quiet conditions,
Med. Res. Council A.P.U. Report 130 (1950).
- (15) BROADBENT D.E. - The twenty dials and twenty lights test under
noise conditions. Med. Res. Council A.P.U. Report 160
(1951).
- (16) BROZEK J. - Quantitative criteria of oculomotor performance and
fatigue. J. Appl. Physiol. 2 (1949) 247.
- (17) BROZEK J., E. SIMONSON und A. KEYS. - Changes in visual func-
tions and performance after 2 hours of intensive ins-
pection at 2 footcandles. Federation Proceedings 6
(1947) 1.
- (18) BURCH N.R. und T.H. GREINER. - Drugs and human fatigue : GSR-
parameters. The J. Psychol. 45 (1958) 3.
- (19) DAVIS R.C. - Auditory and visual flicker-fusion as measurement of
fatigue. Am. J. Psychol. 68 (1955) 654.
- (20) DEESE J. - Some problems in the theory of vigilance. Psychol.
Rev. 62 (1955) 359.
- (21) DUEKER H. - Untersuchungen über die sogenannte Aufmerksamkeit.
Ber. 20. Kongr. Dtsch. Ges. für Psychol. 142 (1955).
- (22) DUEKER H. - K-L-T, Der Konzentrations-Leistungs-Test. Heraus-
geber : G.A. LIENERT. Göttingen 1959.
- (23) EHRENSTEIN W. - Die optischen Täuschungen als Kriterium der
Ermüdung. Industr. Psychotechnik 20 (1943/44) 18.
- (24) EHRENSTEIN W. - Probleme der ganzheitspsychologischen Wahr-
nehmungslehre. 2. Aufl. Leipzig 1947.

- (25) EIFF A.W. VON und H. GOEPFERT. - Ausmass und Ursachen der Energieumsatz-Veränderungen bei der geistigen Arbeit. Z. ges. exp. Med. 120 (1952) 72.
- (26) FRENCH J.D., F.K. AMERONGEN und H.W. MAGOUN. - An activating system in brain stem of monkey. Arch. Neurol. Psychiatr. (Chicago) 68 (1952) 577.
- (27) GARVEY W.D., F.V. TAYLOR und E.P. NEWLIN. - The use of "artificial signals" to enhance monitoring performance. U.S. Naval Res. Lab. Rep. 5269 (1959).
- (28) GOEPFERT H. - Energieumsatz und Muskelaktivität bei geistiger Arbeit und im psychologischen Test. Psychol. Beiträge 2 (1956) 439.
- (29) GOEPFERT H., A. BERNISMEIER und R. STUFLE. - Ueber die Steigerungen des Energiestoffwechsels und der Muskelinnervation bei geistiger Arbeit. Pflügers Arch. ges. Physiol. 256 (1953) 304.
- (30) GRAF O. - Eine Methode zur Untersuchung der pharmakologischen Beeinflussung von Koordinationsleistungen. Arbeitsphysiol. 12 (1943) 348.
- (31) GRAF O. - Ganztägige Arbeitsablaufuntersuchungen an 200 Arbeitsplätzen. 2. Bd. "Arbeitszeit und Produktivität". Berlin 1959.
- (32) HAEKKINEN S. - Traffic accidents and driver characteristics. Suomen Teknillinen Korkeakoulu, Tieteellisiä Nr. 13, Helsinki 1958.
- (33) HAIDER M. - Experimenteller Beitrag zum Verhalten des negativen Nachbildes bei Ermüdung. Z. exp. angew. Psychol. 4 (1957) 94.
- (34) HAIDER M. - Ermüdung, Beanspruchung und Leistung. Eine Einführung in die Ermüdungs- und Monotonieforschung. Wien 1962.

- (35) HARTMANN E. - Disability glare and discomfort glare. In :
INGELSTAM E. (Edit.) : Lighting problems in highway
traffic. Oxford-London-New-York-Paris 1963, S. 95.
- (36) HEINECKER R., K.E. ZIPF und H.W. LOESCH. - Ueber den Einfluss
körperlichen Trainings auf Kreislauf und Atmung. Z.
Kreislaufforschung 49 (1960) 913, 924 und 935.
- (37) HEINZE H. - Die Eignung des psychogalvanischen Hautreflexes
zur objektiven Erfassung eines Ermüdungsvorganges.
Psychol. Beiträge 2 (1955) 98.
- (38) HERNANDEZ-PEON R. und K.E. HAGBARTH. - Interaction between
afferent and cortically induced reticular responses.
J. Neurophysiol. 18 (1955) 44.
- (39) HESS W.R. - Die funktionelle Organisation des vegetativen
Nervensystems. Basel 1948.
- (40) HESS W.R. - Das Zwischenhirn. Syndrome, Lokalisation, Funktio-
nen. Basel 1949.
- (41) HESS W.R. - Symposium über das Zwischenhirn. Helv. physiol.
pharmacol. Acta 8 (1950) suppl. VI.
- (42) JUNG R. - Allgemeine Neurophysiologie. In : v. BERGMANN, FREY
und SCHWIEGK : Handbuch der Inneren Medizin, Bd. 5,
I. Teil. Berlin 1953.
- (43) KALSBECK J.W.H. - Mesure objective de la surcharge mentale. Nou-
velles applications de la méthode des doubles tâches.
Le Travail Humain XXVIII (1965) 121-122.
- (44) KALSBECK J.W.H. - On the measurement of deterioration stress.
Ergonomics 7 (1964) 187.
- (45) KALSBECK J.W.H. und J.H. ETTEMA. - Onderdrukking van de onre-
gelmaticheid van de hartsflag als een objective maat
voor de mentale inzet. T. soc. Geneesk. 43 (1965) 644.

- (46) KARSTEN A. - Psychische Sättigung. Psychol Forschung 10 (1928) 142.
- (47) KIDD J.S. und A. MICOCCHI. - Maintenance of vigilance in an auditory monitoring task. J. Appl. Psychol. 48 (1964) 13.
- (48) KROEBEL W. - Ein objektiver Ermüdungstest. Naturwiss. 41 (1954) 278.
- (49) KROEBEL W. - Das Schwermögen des menschlichen Auges bei Schwarz-Weiss-Bildern. Naturwiss. 45 (1958) 105.
- (50) KROEBEL W. - Ueber die physikalischen Grundlagen der Gütebeurteilung photographischer Bilder. Naturwiss. 45 (1958) 284.
- (51) LACEY J.I. - Individual differences in somatic response patterns. J. Comp. Physiolog. Psychol. 43 (1950) 338.
- (52) LEWIN K. - Die Bedeutung der psychischen Sättigung für einige Probleme der Psychotechnik. Psychotechn.Zschr. 3 (1928) 182.
- (53) LINDSLEY D.B. - Physiological Psychology. Ann. Rev. Psychol. 7 (1956) 323.
- (54) LINDSLEY D.B., J. BOWDEN und H.W. MAGOUN. - Effect upon EEG of acute injury to the brain stem activating system. EEG Clin. Neurophysiol. 1 (1949) 475.
- (55) LOWENSTEIN O. und I.E. LOEWENFELD. - Types of central autonomic innervation and fatigue. Arch. Neurol. Psychiatr. 66 (1951) 580.
- (56) LOWENSTEIN O. und I.E. LOEWENFELD. - Disintegration of central autonomic regulation during fatigue and its reintegration by psychosensory controlling mechanisms. I. Desintegration, II. Reintegration. J.Nerv. Ment. Dis. 115 (1952) 1 und 121.

- (57) LUCKIESH M. - Light, vision and seeing. 5. Aufl. New York 1948.
- (58) LUCKIESH M. und F.M. MOOS. - The eyelight reflex as a criterion of ocular fatigue. J. Exp. Psychol. 20 (1937) 589.
- (59) LUCKIESH M. und F.M. MOOS. - The science of seeing. New York 1938.
- (60) MACKWORTH N.H. - Research on the measurement of human performance. Med. Res. Council, Rep. N^o 268. London 1950.
- (61) MALMO R.B. - Activation : a neurophysiological dimension. Psychol. Rev. 66 (1959) 367.
- (62) Mc CLELLAND D., J.W. ATKINSON, R.A. CLARK und E.L. LOWELL. - The achievement motive. New York 1953.
- (63) MEYER-DELIUS J. - Die Schalleinwirkung auf den Menschen. Automobiltechn. Zschr. 59 (1957) H. 10.
- (64) MIERKE K. - Wille und Leistung. Göttingen 1955.
- (65) MIES H. - Untersuchungen über die physiologischen Grenzen der Leistungsfähigkeit der Frau in der Berufsarbeit. Arbeitsschutz 1957, S. 147.
- (66) MORUZZI G. und H.W. MAGOUN. - Brain stem reticular formation and activation of the EEG. EEG Clin. Neurophysiol. 1 (1949) 455.
- (67) PAWLOW J.P. - Experimentelle Pathologie der höheren Nerventätigkeit. Sämtliche Werke Bd. 3/1 und 3/2. Berlin 1953.
- (68) PLATT F.N. - A new method of evaluating the effects of fatigue on driver performance. Hum. Factors 6 (1964) 351.

- (69) RIEMANN H. - Ueber Messungen des Täuschungsbetrages bei geometrisch-optischen Täuschungen und deren Verwendbarkeit als Mittel der typologischen Diagnose. Diss. Danzig. 1933.
- (70) RIVERS W.H.R. und E.KRAEPELIN. - Ueber Ermüdung und Erholung. Psychol. Arbeiten 1 (1896) 627.
- (71) RUTENFRANZ J. - Ueber das Verhalten der Pulsfrequenz bei Arbeiten unter Zeitdruck. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 18 (1960) 264.
- (72) RYAN A.H. und M.WARNER. - The effect of automobile driving on the reactions of the driver. Amer. J. Physiol. 48 (1936) 403.
- (73) SCHAEFER H. - Physiologie der Ermüdung und Erschöpfung. Med. Klin. 54 (1959) 1109.
- (74) SCHEIBEL M., A. SCHEIBEL, A. MOLLIKA und G. MORUZZI. - Patterns of convergence and interaction of afferent impulses on single units of the reticular formation. J. Neurophysiol. 18 (1955) 309.
- (74a) SCHMALE H. und SCHMIDTKE H. - Psychophysische Belastung von Musikern in Kulturorchestern. Mainz, 1965.
- (75) SCHMIDTKE H. - Ueber die Messung der psychischen Ermüdung mit Hilfe des Flimmertests. Psychol. Forschung 23 (1951) 409.
- (76) SCHMIDTKE H. - Ermüdungs- und Pausenprobleme bei körperlich leichten und mittelschweren Arbeiten. Zbl. Arbeitswiss. 5 (1951) 129.
- (77) SCHMIDTKE H. - Die Ermüdung. REFA-Nachrichten 9 (1956) 21.
- (78) SCHMIDTKE H. - Essais de mesure de la fatigue psychique. L'Etude du Travail 84 (1958) 36.
- (79) SCHMIDTKE H. - Allgemeinwirksame Einflüsse auf das Lesen und Auswerten von Radar-Bildern. Vortrag, gehalten auf der Diskussionstagung des Ausschusses für Funkortung 4.-8.1.1960 in Essen.

- (80) SCHMIDTKE H. - Physiologie der Ermüdung. Habilitationsschrift. Kiel 1960.
- (81) SCHMIDTKE H. - Untersuchungen über den Erholungszeitbedarf bei psychisch beanspruchender Tätigkeit. Ein Beitrag zur Theorie der Erholungspause. In : Arbeitsstudien Heute und Morgen. Festschrift zum 70. Geburtstag von Prof. Dr. Ing. E. Bramesfeld. Hrsg. Verband für Arbeitsstudien REFA. Berlin-Köln-Frankfurt 1963.
- (82) SCHMIDTKE H. - Die Ermüdung. Symptome, Theorien, Messversuche. Bern 1965.
- (83) SCHMIDTKE H. und H. HOFFMANN. - Untersuchungen über die Dauerbeanspruchung der Aufmerksamkeit bei Ueberwachungstätigkeiten. Forschungsbericht Nr. 1442 des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln-Opladen 1964.
- (84) SCHMIDTKE H. und H.C. MICKO. - Untersuchungen über die Reaktionszeit in Dauerbeobachtungssituationen. Forschungsbericht Nr. 1360 des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln-Opladen 1964.
- (85) SICKEL W. - Untersuchungen über das menschliche Elektroenzephalogramm nach mehrstündiger psychischer Aktivität. Diss. Marburg 1961.
- (86) SICKEL W. - Ueber das menschliche Elektroenzephalogramm nach mehrstündiger psychischer Aktivität. Arch.ges. Psychol. 114 (1962), 1.
- (87) SIMONSON E. und N. ENZER. - Measurement of fusion frequency of flicker as a test for fatigue of the central nervous system. J. Ind. Hygiene and Toxicol. 23 (1941) 83.
- (88) SMITH A. und K.U. SMITH : Effects of sustained performance on human motion. Perceptual and Motor Skills 5 (1955) 23.
- (89) STARZL T.E., C.W. TAYLOR und H.W. MAGOUN. - Collateral afferent excitation of reticular formation of brain stem. J. Neurophysiol. 14 (1951) 479.

- (90) THORNDIKE E.L. - Psychologie der Erziehung. 2. Aufl. Jena 1930.
- (91) VOIGT J. - Die Handschrift als Indikator der Ermüdung. 2. exp. angew. Psychol. 3 (1955/56) 458.
- (92) VOIGT J. - Die Aktualgenese in der psychologischen Diagnostik. Psychol. Beiträge 2 (1956) 586.
- (93) VOSS G. VON. - Ueber die Schwankungen in der geistigen Arbeitsleistung. Psychol. Arbeiten 2 (1899) 399.
- (94) WACHHOLDER K. - Unser Energiebedarf und seine Einschränkung bei herabgesetzter Nahrungszufuhr. Z. ges. inn. Med. 1 (1946) 130.
- (95) WACHHOLDER K. - Energie- und Nahrungsbedarf bei geistiger Arbeit. Verhandl. Dtsch. Ges. Inn. Med. 55. Kongr. 1949, 335.
- (96) WENDT H.W. - Ueber Ermüdungs-Indikatoren. Psychologie und Praxis 1 (1956) 129.
- (97) WENGER M.A. - The stability of measurement of autonomic balance. Psychosom. Med. 4 (1942) 94.
- (98) WIERSMA E.D. - Der Einfluss von Bewusstseinszuständen auf den Puls und auf die Atmung. Z. ges. Neurol. Psychiat. 19 (1913) 1.
- (99) ZONEFF P. und E. MEUMANN. - Ueber Begleiterscheinungen psychischer Vorgänge in Atem und Puls. Zit. nach OFFNER M. : Die geistige Ermüdung, Berlin 1928.

